


SIGILLVM · COLLEGII · COLVMBIAE · NOVI · EBORACI
IN LVMINE TVO VIDEBIMVS LVMEN
I·PET·II·V·2·







HANDBUCH DER HYGIENE.

I. THEIL.

2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

---

v. ZIEMSSEN'S HANDBUCH
DER
SPECIELLEN PATHOLOGIE UND THERAPIE.
ERSTER BAND.
Dritte umgearbeitete Auflage.

HANDBUCH DER HYGIENE
UND DER
GEWERBEKRANKHEITEN

BEARBEITET VON

DR. A. BAER IN BERLIN, BAUR. L. DEGEN IN REGENSBURG, DR. R. EMMERICH IN MÜNCHEN, PROF. F. ERISMANN IN MOSKAU, PROF. C. FLÜGGE IN GÖTTINGEN, PROF. J. FORSTER IN AMSTERDAM, PROF. A. GEIGEL IN WÜRZBURG, PROF. A. HILGER IN ERLANGEN, PROF. L. HIRT IN BRESLAU, PROF. A. KUNKEL IN WÜRZBURG, DR. G. MERKEL IN NÜRNBERG, PROF. v. PETTENKOFER IN MÜNCHEN, DR. F. RENK IN MÜNCHEN, DR. A. SCHUSTER IN MÜNCHEN, PROF. J. SOYKA IN PRAG UND DR. G. WOLFFHÜGEL IN BERLIN.

HERAUSGEGEBEN
VON
Prof. Dr. **M. v. PETTENKOFER** und Prof. Dr. **H. v. ZIEMSSEN.**

ERSTER THEIL.
2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

Der Boden von Prof. Dr. **J. Soyka.**

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1887.

HANDBUCH DER HYGIENE

UND DER

GEWERBEKRANKHEITEN.

ERSTER THEIL.

INDIVIDUELLE HYGIENE.

2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

Der Boden

VON

Dr. J. SOYKA,

a. ö. Prof. d. Hygiene a. d. deutschen Universität in Prag.

MIT 37 ABBILDUNGEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON F. C. W. VOGEL.

1887.

INHALTSVERZEICHNISS.

ZWEITER THEIL.

Die Erscheinungsformen des Bodens.

BODEN

VON

Dr. ISIDOR SOYKA
a. ö. Professor der Hygiene an der deutschen Universität in Prag.



EINLEITUNG.

Die wissenschaftliche Hygiene hat auch den Boden, auf dem der Mensch seine Wohnstätte errichtet hat, auf dem er lebt und arbeitet, in das Bereich ihrer Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen gezogen, hat ihn in die Kategorie jener Factoren der Aussenwelt eingereiht, die in Wechselbeziehung zur Gesundheit des Menschen treten können. Es kann in dieser Thatsache der Ausdruck jener, nun zum Bewusstsein gelangten Zusammengehörigkeit und Solidarität aller organischen Wesen angesehen werden, welche der naturwissenschaftlichen Auffassung und Behandlung der Medicin in all ihren Disciplinen als Grundlage dient. Der Gegensatz zwischen Pflanzen und Thieren ist kein so mächtiger, so grundsätzlich durchgreifender, dass ein Factor, der in dem Leben der Pflanze eine so ausserordentlich wichtige Rolle spielt, für den thierischen Organismus ohne jede Bedeutung sein sollte, wenn sich dieser Einfluss vielleicht auch nur auf Umwegen manifestirt, etwa vermittelt durch andere Organismen, durch Pflanzen, die im Boden leben und wurzeln. Es hiesse aber das Gebiet der Hygiene zu weit ausdehnen, wollten wir alle jene Momente ins Auge fassen, durch welche der Mensch in, sagen wir, physiologischer Beziehung vom Boden beeinflusst wird. Die Configuration des Bodens, der Wasserreichthum, die Art seiner Bearbeitung, die Fruchtbarkeit desselben üben ebenso sicher Einwirkung auf die körperliche Entwicklung der Menschen aus, als sich dieser Einfluss in Lebensweise, Sitten, Gebräuchen, Volkscharakter u. s. w. ausspricht.

Während jedoch diese Fragen zum grossen Theil der Anthropologie oder Ethnographie überlassen bleiben, müssen wir vom hygienischen Gesichtspunkte aus im Boden jene Beziehungen zum Menschen ins Auge fassen, in denen eine Beeinflussung der Gesundheit gefunden werden kann, wo der Boden oder einzelne Bestandtheile desselben direct zu krankmachenden Potenzen werden können. Einflüsse dieser Art sind längst geahnt, längst behauptet worden; aber erst in neuerer Zeit hat die hierauf gerichtete Untersuchung ein greif-

bares, aber lange nicht vollständiges Substrat zu liefern begonnen, das Aufklärung zu geben verspricht, wie derartige Erscheinungen zu Stande kommen.

Es tritt jedoch im Vergleiche zu den anderen in diesem Handbuch behandelten, die Gesundheit beeinflussenden Factoren der Aussenwelt beim Boden eine gewisse Schwierigkeit in der Bearbeitung des Gegenstandes zu Tage. In dem Begriffe „Boden", wie er für den Hygieniker zur Berücksichtigung und Untersuchung gelangt, vereinigt sich eine solche Summe von Bestandtheilen und Eigenschaften, dass das Resultat der Wechselbeziehungen zwischen ihm und dem Menschen zu einer sehr complicirten Function wird, in welcher für die einzelnen Factoren das Maass ihrer Bedeutung und ihrer Mitwirkung bisher nur selten mit der nöthigen Schärfe zu bestimmen ist. Schon die ungleichmässige Begrenzung des Begriffes führt uns diese Schwierigkeiten vor Augen. Haben wir ja unter „Boden" im hygienischen Sinne einmal diejenige eng umschriebene, eng begrenzte Stätte aufzufassen, auf der der Mensch, resp. sein Wohnhaus, seine Arbeitsstätte sich befindet und die wir uns losgelöst denken müssen von der weiteren Umgebung; ein andermal dagegen einen umfassenderen Theil des Landes, wie er als eine Art geographisches Ganze uns entgegentritt in allen seinen Erscheinungen, in seiner Configuration, seiner Gliederung, seiner Schichtung, in seinen klimatischen Eigenthümlichkeiten und Veränderungen, seinen oro- und hydrographischen Verhältnissen, seinen Wechselbeziehungen zu benachbarten Gebieten, kurz in allen jenen Momenten, die auch der physikalischen Geographie zu Grunde liegen.

Die Schwierigkeit der hygienischen Würdigung dieses Factors resp. Factorencomplexes wird aber noch grösser, wenn, wie dies hier der Fall ist, die Bearbeitung sich auf das Gebiet der individuellen Hygiene zu beschränken hat. Der Einfluss, den der Boden auf die menschliche Gesundheit zu nehmen vermag, ist nur in geringem Maasse ein directer, ein unmittelbarer, in der Weise, dass seine Bestandtheile und seine Eigenschaften direct auf den menschlichen Organismus einwirken, direct zu Krankheitsursachen werden können. Eine solche unmittelbare Einwirkung kann z. B. auf die Wärmeregulirung des Menschen ausgeübt werden bei unmittelbarem Contact mit dem Boden; eine derartige directe Beziehung geben gewisse Gasausströmungen giftiger Natur (von Kohlensäure, Schwefelwasserstoff u. s. w.).

In der grösseren Anzahl der Fälle liegen die Verhältnisse jedoch so, dass der Boden in seinen verschiedenen Bedingungen erst das Substrat abgibt zur Entwickelung gewisser von Aussen in den

Boden eingeführter Schädlichkeiten, oder auch nur den Vermittler spielt, der uns derartige Schädlichkeiten auf verschiedenen Wegen zuführt, sei es direct oder aber wieder indirect, indem er sie erst an andere Bestandtheile der Aussenwelt, an die Luft, an das Wasser, an die Mauern unserer Wohnungen u. dgl. abgibt, die damit die schädlichen Eigenthümlichkeiten des Bodens auf uns übertragen.

Könnte es nun scheinen, dass der Boden im Allgemeinen, wenn er als gesundheitsschädliche Potenz auftritt, der Luft gegenüber dadurch eine geringere Gefährlichkeit besitzt, dass die Verbreitung des schädlichen Factors, welcher Natur er auch sei, bei der relativen Stabilität, der Unbeweglichkeit, die dem Boden inne wohnt, keine so rasche, keine so allgemeine werden kann, so haftet ihm doch wieder die bedenkliche Eigenthümlichkeit an, dass wegen dieser gewissen Trägheit ein längeres Haften der schädlichen Potenz möglich ist, als z. B. in der Luft, deren Beimischungen durch die grosse Beweglichkeit und den dadurch begünstigten Luftwechsel so leicht weggeführt oder so sehr verdünnt werden können.

Von der grösseren oder geringeren Continuität der Bodenelemente und dem Rapport, in dem sie zu einander stehen, wird es überhaupt abhängen, ob eine Schädlichkeit, die sich im Boden etablirt, sich leicht über eine grosse Gemeinschaft erstreckt. Hierzu wird freilich besonders dadurch Gelegenheit geboten, dass durch zwei in die Zusammensetzung des Bodens eintretende Elemente, Luft und Wasser, eine gewisse Verschiebbarkeit der Bestandtheile und dadurch eine grössere Verbreitbarkeit ermöglicht ist. —

Mit dem gelieferten Nachweis, dass der Boden die Eigenthümlichkeit besitzt, eine in sich aufgenommene oder ihm anhaftende Schädlichkeit auf grössere Strecken und Zeiträume zu verbreiten resp. zu bewahren und so z. B. für eine grössere Gemeinschaft von Menschen und wiederholt als Brutstätte von Krankheitskeimen zu dienen, wird aber der Boden bereits in jene Kategorie ätiologischer Momente gestellt, welche für die epidemische und endemische Entstehung und Ausbreitung von Infectionskrankheiten verantwortlich zu machen sind. Diesen Beziehungen sucht die III. Abtheilung des II. Theiles dieses Handbuches gerecht zu werden. Es ist in der Aetiologie und Prophylaxe der Infectionskrankheiten auch die Rolle zu definiren, die der Boden bei diesen zu spielen hat, es ist die Aufgabe festzustellen, in welcher Weise ihm diese Eigenschaften zu entziehen sind. In vorliegender Abtheilung werden wir uns deshalb darauf beschränken müssen, den Boden in der Weise zu analysiren, dass wir alle einzelnen Factoren, die in dessen Zusammensetzung eintreten, soweit sie

hygienisch in Betracht kommen können, für sich allein und in ihren Beziehungen zu einander hervorheben und studiren, ohne jedoch auf den Zusammenhang zwischen Boden und Infectionskrankheiten ausführlicher einzugehen.

Bei einer derartigen theoretischen Behandlung, die zur Etablirung einer Art Physik oder Physiologie des Bodens führen muss, wird es, dem jetzigen Stande unseres Wissens entsprechend, nicht zu umgehen sein, dass manche Details Erwähnung finden, deren Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit noch nicht festgestellt oder noch nicht erklärt ist, manche sogar, die eine spätere Forschung eventuell als belanglos aus dem Rahmen der Bodenhygiene wieder streichen wird; dass dagegen manche unbeachtet bleiben, denen vielleicht eine grosse hygienische Bedeutung innewohnt. Dass dies beim Boden viel häufiger der Fall sein dürfte, als bei anderen Factoren der Aussenwelt, hat seinen Grund darin, dass gerade für dieses Gebiet die Zeit, seit welcher die wissenschaftliche und experimentelle Forschung sich demselben zugewendet hat, noch eine relativ sehr kurze ist, so dass erst wenige sichere Handhaben gefunden wurden, erst wenige Beziehungen vollständig aufgehellt sind. Die folgende Darlegung soll deshalb mehr als eine Art Versuch aufgefasst werden, eine möglichst umfassende und systematische Darstellung der Bodenverhältnisse nach hygienischen Gesichtspunkten zu geben.

Wir werden nun bei der Besprechung der einzelnen Bodenverhältnisse derart vorgehen, dass wir von den einfachen Bodenconstituenten, ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften ausgehen, soweit es sich herausgestellt hat, dass sie hygienische Bedeutung besitzen oder gewinnen können, sodann dieselben weiterhin in ihrer Combination und in den durch den Menschen der Cultur gesetzten Veränderungen studiren, um schliesslich zur Darstellung des Gesammtbildes für den Untergrund einer Stadt, für den Boden eines grösseren Landstriches zu gelangen, wie er für die hygienische Beurtheilung von Wichtigkeit ist. Hierbei werden wir allerdings nicht umhin können, an einzelnen Stellen auf die Infectionskrankheiten und auf die Beziehungen des Bodens zu denselben kurz hinzuweisen.

Vor allem werden wir uns aber in dieser Arbeit von zwei wesentlichen, hygienischen Gesichtspunkten leiten lassen, auf welche hin alle Momente untersucht werden sollen.

Der eine derselben sucht Einblick in alle jene Bedingungen zu gewinnen, welche zu einer Communication, einer Wechselbeziehung zwischen Boden und Oberfläche, und also auch zwischen Boden und Menschen führen, welche dem Boden einerseits fremdartige Stoffe

zuzuführen, andererseits wieder dem Boden direct oder indirect entstammende, gasförmige, flüssige oder feste Stoffe, und besonders auch Organismen an die Oberfläche, an den Menschen zu verbringen vermögen, gleichgiltig ob dies nun auf dem Wege unmittelbaren Contactes geschieht oder durch Vermittlung von Luft, Wasser, Mauern u. dgl.

Der andere Gesichtspunkt umfasst alle jene Momente, die zur Entwickelung von Organismen, besonders solchen, die als Krankheitserreger zu betrachten sind, Veranlassung geben können oder diese in ihrer Entwickelung, ihrem Wachsthum, ihren biologischen Eigenschaften zu modificiren, zu begünstigen oder zu hemmen vermögen.

ERSTER THEIL.

Die Bodenconstituenten und ihre Eigenschaften.[1])

ERSTES CAPITEL.

Petrographische Classification der Bodenbestandtheile.[2])

Wir müssen als Ausgangspunkt unserer Darstellung die Petrographie, Gesteinslehre oder Lithologie nehmen, denn sie lehrt uns die Zusammensetzung unserer Erdkruste kennen, indem sie die Aufgabe hat, das Material der Gesteine — und Gesteine, Felsarten, Gebirgsarten werden alle Mineralaggregate genannt, welche zum Aufbau der Erdkruste in wesentlich hervorragender Weise beitragen, mögen dieselben nun als feste Massen oder als lockere oder lose Anhäufungen sich darbieten — in mineralogischem, chemischem

1) Ausser den im Texte citirten Literaturnachweisen müssen die zahlreichen Lehr- und Handbücher der Agriculturchemie resp. Agriculturphysik hier Erwähnung finden. Die hauptsächlichsten sind: Schübler, Grundsätze der Agriculturchemie. 1838. — Trommer, Handbuch der Bodenkunde. 1857. — Bischof, Lehrbuch der physikalischen und chemischen Geologie. II. Aufl. 1863—1871. — Schuhmacher, Die Physik des Bodens in ihren theoretischen und practischen Beziehungen zur Landwirthschaft. 1864—1867. — Knop, Der Kreislauf des Stoffes. Lehrbuch der Agriculturchemie. 1868. — Girard, Grundlage der Bodenkunde für Land- und Forstwirthschaft. 1868. — Mayer, Ad., Lehrbuch der Agriculturchemie. 1871. — Detmer, Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der allgem. landwirthschaftlichen Bodenkunde. 1876. — Wehnen, Boden und Steine. 1883. — Lorenz v. Liburnau, Die geologischen Verhältnisse von Grund und Boden für die Bedürfnisse der Land- und Forstwirthe. 1883.

2) Bei diesem Capitel erfreute ich mich der Mitarbeiterschaft meines Freundes Dr. A. Penck, Professor der Geographie in Wien.

und physikalischem Bezuge kennen zu lernen; die Formen, unter welchen sich die Gesteine darbieten, zu ermitteln.[1] Es scheint ein Eingehen auf diesen Gegenstand auch schon insofern geboten, als eine Orientirung auf dem Gebiete der Bodenphysik ohne Kenntniss, zum mindesten der Nomenclatur, nur schwer möglich ist. Von wesentlicher Bedeutung wäre allerdings, wenn wir der Petrographie bereits für jede einzelne Gesteinsart genau die betreffenden physikalischen und chemischen Verhältnisse in allen ihren Variationen entnehmen könnten, was bisher nicht möglich ist. Es treten oft dieselben mineralogischen Bestandtheile unter verschiedenen Gestaltungen in verschiedener Aggregation und Structur auf; in den älteren Ablagerungen der Gebirgsgegenden als erhärtete Gebirgs- oder Felsarten, wie Thonschiefer, Sandstein, Conglomerat, Kalkstein; in den jüngeren Ablagerungen der Ebenen und Niederungen als Thon, Sand, Gerölle, die noch nicht zu Fels geworden sind. Hierdurch wird aber oft die Stellung, die der Boden einer Gegend in hygienischer Beziehung einnimmt, vollständig verschoben.

Im Allgemeinen ist die Zahl der Mineralien, welche gesteinsbildend auf der Erde auftreten, ausserordentlich gering, und noch geringer ist die Zahl der Elemente, welche in reichlicher Menge die Erdkruste zusammensetzen helfen. Freie Kieselsäure bildet in Form von Quarz einen wichtigen gesteinsbildenden Factor, untergeordnet ist ihr Auftreten als Tridymit. Eine sehr bedeutende Rolle bei der Zusammensetzung der Gesteine bilden die Silikate von Thonerde, Eisen, Magnesia, Kalk, Kali, Natron. Es ist hier vor allem die Gruppe der Feldspathe zu nennen, welche sämmtlich Alkali-Thonerde-Silikate darstellen. Der monokline Orthoklas (Kalifeldspath), der trikline Plagioklas (Kalk-Natronfeldspath), die selteneren Leucit und Nephelin sind die hauptsächlichsten Vertreter der Feldspathgruppe, welche namentlich in systematischer Hinsicht wesentlich zu beachten sind. Gleichsam als deren Antipoden treten die Mineralien der Glimmer- und Hornblendegruppe auf. Die letztere wird durch die chemisch nahe verwandten Mineralien Augit und Amphibol (Hornblende) repräsentirt, welche Silikate der alkalischen Erden (Kalk, Magnesia, auch Eisen) mit geringem Thonerdegehalt sind. Hierher gehören auch Diallag, Hypersthen und Enstatit. Die Glimmergruppe umfasst den Magnesiaglimmer (Biotit) und Kaliglimmer (Muscovit), sie stellt sehr complicirt zusammengesetzte Alkali-Thonerde-Silikate mit häufigem Eisen- und Wassergehalte dar. Der Olivin ist ein sehr basisches Silikat der alkalischen Erden Magnesia und Eisenoxydul, der Serpentin ist das Hydrat dieser Verbindung. Talk ist gleichfalls ein wasserhaltiges Magnesiasililkat, Chlorit ein wasserhaltiges Thonerde-Magnesia-Silikat. Die Carbonate rivalisiren mit den Silikaten hinsichtlich ihrer Betheiligung am Bau der Erdkruste, wenngleich nur die von Eisen, Kalk und Magnesia reichlich auftreten. Kalkcarbonat spielt als Kalkspath

---

1) Zirkel, Lehrbuch der Petrographie.

und Aragonit eine wichtige Rolle, seltener ist das reine Magnesiacarbonat, Magnesit, häufig dagegen eine Verbindung bezüglich ein Gemenge beider, der Dolomit. Eisenoxydulcarbonat, der Siderit oder Spatheisenstein tritt auch gesteinsbildend auf. Von Sulphaten mögen hier nur das wasserfreie Kalksulphat, Anhydrit, das wasserhaltige Kalksulphat, Gyps, erwähnt werden. Von Phosphaten bildet der Apatit, ein Kalkphosphat mit Chlor- und Fluorgehalt, zwar nur einen accessorischen Gesteinsgemengtheil, welchem jedoch durch seine weite Verbreitung eine hohe Bedeutung zukommt. Beschränkt ist das Auftreten von Chlorverbindungen, welche nur im Steinsalze wirklich gesteinsbildend auftreten; und von der grossen Zahl der Erze ist nur das Magneteisen Gesteinsbildner oder Gesteinsgemenge.

Hinsichtlich ihrer mineralogischen Zusammenstellung theilt man die Gesteine ein in einfache und gemengte, je nachdem sich ein oder mehrere Mineralien an ihrem Aufbau betheiligen; man unterscheidet ferner klastische und nichtklastische Gesteine, und hat so auf der einen Seite die Gesteine, welche sich aus Trümmern anderer aufbauen und dies durch ihre Beschaffenheit verrathen, sowie auf der anderen Seite solche, welche einen durchaus einheitlichen Charakter besitzen. Diese letzteren sind meist krystallin ausgebildet, d. h. sie bestehen aus einem Aggregat von Krystallen oder vielmehr krystallisirten Mineralien, die sich jedoch der Regel nach in ihrer Ausbildung gegenseitig gehemmt haben. Sind die einzelnen Krystalle leicht unterscheidbar, so nennt man das Gestein makrokrystallin, sinken sie zu mikroskopischer Kleinheit herab, so bezeichnet man dasselbe als mikrokrystallin. In vielen Gesteinen endlich kommt eine amorphe, akrystalline Masse, ein Glas, vor.

Die grosse Mehrzahl aller Gesteine stellt Sedimente, Absätze, dar. Solche Sedimente können sich sowohl in der Luft, als auch im Wasser bilden, sie können mechanische oder chemische sein und ihre Bildung kann häufig durch organische Thätigkeit befördert worden sein, in welchem Falle man dann von zoogenen oder phytogenen Gesteinen redet. Einen geringeren Procentsatz der Gesteine bilden vulkanische Gesteine, welche man auch als plutonische bezeichnete. Die Zahl der kryptogenen Felsarten, deren Ursprung in Dunkel gehüllt ist, nimmt täglich ab, wenngleich auch nicht zu leugnen ist, dass die Frage, ob manche Sedimente in ihrer ursprünglichen Form vorliegen oder ob sie eine beträchtliche Umwandlung (Metamorphose) erlitten haben, noch keineswegs endgültig gelöst ist.

Gruppirt man die Gesteine nach ihrer Structur, so erhält man auf der einen Seite die massigen, ungeschichteten Gesteine, auf der anderen die Schichtgesteine, d. h. diejenigen, welche einen Aufbau aus einzelnen Lagen oder Schichten erkennen lassen. Die massigen Gesteine repräsentiren zugleich die, welche vulkanischen Ursprungs sind, die Schichtgesteine, die Sedimente. Die ersteren kann man dann auf Grund ihrer Structur weiter theilen in körnige, wenn ihre einzelnen Gemengtheile von gleicher Grösse und deutlich sichtbar sind, in porphyrische, wenn gewisse Gemengtheile vor den anderen durch ihre Grösse ausgezeichnet sind, so dass sie gleichsam in einer Basis eingebettet erscheinen, und in glasige, wenn das Gestein keine Individualisirung in einzelne

mineralische Bestandtheile erkennen lässt, sondern aus einer homogenen, amorphen Masse besteht. Die Schichtgesteine zerfallen in nichtklastische und klastische, je nachdem sie eine einheitliche Zusammensetzung besitzen oder aus fremden Gesteinselementen zusammengesetzt werden. Diese letzteren, klastischen Gesteine kann man weiter gliedern in Psephite, aus groben Trümmern bestehend (ψῆφος, kleiner Block), Psammite, aus kleineren Trümmern bestehend, und Pelite, solche, welche sich aus ausserordentlich kleinen Trümmern aufbauen.

I. Massengesteine.

1. Die **Granit-** und **Felsitporphyrfamilie** umfasst Orthoklasgesteine mit Quarz und Glimmer bezüglich Hornblende.

   Der Granit besteht aus einem körnigen Gemenge von Quarz, Feldspath (Orthoklas und Plagioklas) und Glimmer (Kali- oder Magnesiaglimmer, häufig beide). Umfasst Gesteine mit 70—80 % Kieselsäure. Verwittert in Kaolin. Tritt in mächtigen Stöcken auf (Harz, Erzgebirge, Böhmerwald) oder in Form kleiner Gänge, in welchen er oft eine besonders grobkrystalline Ausbildung nimmt (Pegmatit). Von dem normalen Granit mögen geschichtete Granite (Lager- oder Gneissgranite) scharf gesondert werden, welche zu den Schichtgesteinen gehören. Durch Aufnahme von Hornblende geht der Granit in Hornblendegranit und in

   Syenit über, welcher ein Gemenge von Orthoklas und Hornblende mit fast nie fehlendem Quarze darstellt. Walten einige Bestandtheile vor den anderen sehr durch ihre Grösse vor, so wird aus dem Granit ein Granitporphyr.

   Der Felsit- oder Quarzporphyr ist ein Gestein von der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung des Granits in porphyrischer Ausbildung, d. h. man sieht in einer dichten Grundmasse (Basis) Krystalle von Quarz, Feldspath oder Glimmer. Die Grundmasse löst sich unter dem Mikroskop häufig in ein mikrokrystallines Mineralaggregat auf, bisweilen ist sie jedoch auch amorph.

   Der Porphyrit ist die porphyrische Ausbildung eines Syenitgemenges. Felsitporphyre und Porphyre bilden Gänge und Decken (Pfalz, Thüringen, Sachsen).

   Der Felsitpechstein umfasst Gesteine von der chemischen Zusammensetzung des Granits oder Felsitporphyrs in glasiger Ausbildung. Er findet sich nur local in Gängen oder wenig ausgedehnten Decken.

2. Die **Grünsteinfamilie** umfasst Plagioklasgesteine mit Hornblende oder Augit, gelegentlich auch Olivin, welche in England als Trappgesteine zusammengefasst werden.

Diorit, ein Gemenge von Plagioklas und Hornblende Diabas, ein Gemenge von Plagioklas und Augit, bisweilen mit Olivin Gabbro, ein Gemenge von Plagioklas in Diallag	Gesteine von 45—70 % Kieselsäuregehalt, welche in ihrem Auftreten Aehnlichkeit mit dem Granit besitzen; sie bilden gern Stöcke, häufig aber auch Decken.

Augitporphyr, Melaphyr: sind die porphyrische Ausbildung obiger Gesteinsgruppe mit theils mikrokrystalliner, theils amorpher Basis. Der Melaphyr ist vor dem Augitporphyr durch seinen Olivingehalt ausgezeichnet. In ihrem Auftreten und ihrer Verbreitung stehen sie den Felsitporphyren nahe.

Melaphyrpechstein ist die glasige Ausbildung der beiden letzterwähnten Gesteinstypen.

3. Die **Trachytfamilie** umfasst Gesteine von 65—80 % Kieselsäuregehalt, welche hinsichtlich ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Granit- und Felsitporphyrfamilie entsprechen, sich von derselben jedoch durch ihren Glasgehalt, durch ihre eigenartige, bald körnige, bald porphyrische Beschaffenheit und ihr geologisches Auftreten unterscheiden.

Quarztrachyt oder Rhyolith mit Quarz, Orthoklas (Sanidin) und Glimmer, oft in porphyrischer Ausbildung.

Trachyt, Orthoklas (Sanidin) und Glimmer, bezüglich Hornblende oder Augit ohne Quarz.

Andesit, Plagioklas mit Augit (Augitandesit) oder Hornblende (Hornblendeandesit); porphyrisch ausgebildet.

Propylit, eine Varietät des Andesit von wenig porphyrischer Beschaffenheit.

Trachytpechstein, Perlit, glasige Ausbildung des Trachyttypus, welche im

Bimsstein schaumig aufgeblasen vorliegt.

Phonolith, Klingstein, enthält auch Nephelin, ausgezeichnet durch seine plattige Absonderung.

4. **Basaltfamilie**, Gesteine aus Augit, Olivin, Magneteisen und Plagioklas bestehend, welch letzterer durch Nephelin oder Leucit vertreten sein kann. Mehr oder minder reichlicher Glasgehalt. 40-50% Kieselsäure.

Feldspathbasalt, enthält Plagioklas.

Nephelinbasalt, enthält Nephelin.

Leucitbasalt, enthält Leucit; die beiden letzteren werden auch als Tephrite bezeichnet.

Limburgit, ein glasreicher Basalt ohne Feldspath.

Je nach dem Grade der Körnigkeit unterscheidet man auch:

Dolerit, ein grobkörniger Basalt, und

Anamesit, ein mittelkörniger Basalt.

Die Gesteine der Trachyt- und Basaltfamilie bilden die Laven der heutigen Vulkane; sie bilden in früheren Vulkangebirgen ausgedehnte Decken und Kegelberge (Vogelgebirge, Böhmen, Ungarn).

5. **Olivingesteine**, bestehend vorwiegend aus Olivin mit Mineralien der Augitgruppe (Lherzolith, Dunit, Olivinfels), bilden durch Aufnahme von Wasser Serpentine.

II. Schichtgesteine.

A. Einfache, nichtklastische Schichtgesteine.

Eis. Das Eis tritt als Gletschereis in Hochgebirgen und Polarländern (Grönland), sowie als gemeines Eis in Sibirien, Alaska und Canada

gesteinsbildend auf, in welch letzteren Ländern der Boden bis zu namhafter Tiefe gefroren ist und aus Lagern gefrorenen Schlammes und reinen Eises besteht.

Steinsalz bildet öfters mächtige Lager (Stassfurt, Sperenberg, Wieliczka) in den verschiedenen geologischen Systemen. Damit zusammen kommen gewöhnlich Kali und Magnesia, Chlorüre und Sulphate vor. Das Steinsalz hat als Verdunstungsrückstand früherer Meere oder Binnenseen zu gelten.

Kalkstein, ein mit alleiniger Ausnahme der Kreide krystallinisches Aggregat von Kalkspath; bisweilen körnig, Marmor, meist aber dicht (gemeiner Kalkstein, lithographischer Schiefer), häufig verunreinigt durch kohlige Substanzen (Anthrakonit), durch thoniges Material (mergeliger Kalkstein). Häufig zoogen (Korallenkalk, Kreide), bisweilen Quellenabsatz (Kalktuff).

Dolomit ist entweder ein Gemenge oder eine Verbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia in wechselnder Menge.

Anhydrit, wasserfreies Kalksulphat, durch Wasseraufnahme unter Aufquellen übergehend in

Gyps, wasserhaltiges Kalksulphat, bisweilen körnig (Alabaster), meist dicht (gemeiner Gyps).

Quarzfels, aus reinem Quarz bestehend, Polirschiefer, aus kieseligen Diatomeenschalen bestehend, also phytogen, Kieselsinter, ein Quellenabsatz, sind die einfachen Kieselgesteine.

Kohlengesteine, phytogene Ablagerungen, mit mehr oder minder hohem Gehalt an Kohlenstoff, Anthracit mit 90 % Kohlenstoff, Steinkohle mit 80 % Kohlenstoff, Pech- und Braunkohle mit 70 % Kohlenstoff, Torf mit 60 % Kohlenstoff.

Bitumen imprägnirt häufig Gesteine (Dysodil, Infusorienschiefer mit Bitumen getränkt), Brandschiefer, Asphaltschiefer. Dasselbe gilt von Petroleum, welches in Nordamerika und Galizien manche Gesteine völlig durchtränkt.

B. Zusammengesetzte, nichtklastische Schichtgesteine.

Gruppe der zusammengesetzten, krystallinischen Schiefer:

Gneissgesteine, bestehend aus Orthoklas, Quarz und Glimmer, und zwar bald nur Kaliglimmer (Muscovitgneiss, rother Gneiss), bald Magnesiaglimmer (Biotitgneiss, grauer Gneiss), bald beide Glimmerarten (zweiglimmeriger Gneiss). Wird der Glimmer durch Hornblende ersetzt, so entsteht Hornblendegneiss. Ein glimmerfreier Gneiss ist der Granulit. Häufig Granat als accessorischer Gemengtheil (Granatgneiss). Bisweilen undeutlich geschichtet (Gneissgranit, Lagergranit).

Glimmerschiefer, bestehend aus Quarz und Glimmer.

Diabasschiefer, Gabbroschiefer, Dioritschiefer, als Grünschiefer häufig vereinigt, sind geschichtete Gesteine von der Zusammensetzung des Diabas, Gabbro, Diorit.

Phyllitgesteine, mikrokrystalline, glimmer- und quarzreiche Schiefer, mit seidenglänzender Oberfläche; ausgezeichnet geschichtet.

Diese zusammengesetzten krystallinen Schiefer bilden im Verein mit krystallinem Kalk und Quarzfels die Formation der krystallinen Schiefer.

C. Klastische Schichtgesteine

bestehen aus mehr oder minder grossen Trümmern präexistirender Gesteine, welche entweder cämentirt oder nur lose aufeinander gehäuft sind. Es lassen sich jedoch keine scharfen Grenzen zwischen losen und cämentirten klastischen Gesteinen ziehen, ein und dieselbe Ablagerung erscheint hier lose, dort verkittet. Je nach dem Ursprung der einzelnen Bestandtheile kann man monogene, polygene und vulkanische Trümmergesteine unterscheiden.

Psephite, Trümmergesteine, deren Fragmente mehr denn Haselnussgrösse besitzen. Sind die Fragmente eckig, so nennt man dies Gestein Breccie (Granit-, Porphyr-, Knochen- und Kalkbreccie), sind die Fragmente gerundet, so heisst das Gestein Conglomerat oder Nagelfluh (Flintconglomerat, aus Feuersteinen bestehend, Porphyr-, Trachyt- u. s. w. Conglomerat, bunte Nagelfluh der Schweiz, aus Geröllen von Kalk, krystallinischen Schiefern und Grauwacken bestehend, Kalknagelfluh, lediglich aus Kalken bestehend, löcherige (diluviale) Nagelfluh, nur wenig verkittet). Conglomerate und Nagelfluhablagerungen sind die Geröllbildungen der Vorzeit, welche je nach dem Orte ihres Auftretens ihre Zusammensetzung ändern und je nach ihrem Alter und localen Umständen verschieden fest verkittet sind.

Psammite, Trümmergesteine, aus höchstens erbsengrossen Fragmenten bestehend, Sandsteine. Man unterscheidet Kalksandsteine, Eisensandsteine nach der Art der Bestandtheile, kieselige und thonige Sandsteine nach der Natur des Bindemittels. Arkose ist ein koalinhaltiger Sandstein mit Glimmer, ein regenerirter Granit, Grauwacke ein stark verkitteter polygener, an thonigen Materialien reicher Sandstein. Quadersandstein, Schilfsandstein u. s. w. sind Bezeichnungen für geologische Complexe. Psammite sind die verkitteten Sande der Vorzeit.

Pelite setzen sich aus ausserordentlich feinkörnigen Trümmern zusammen, aus schlammigen Bestandtheilen. Daneben stellen sich häufig, wohl als secundäre Bildungen, kleine krystallinische Partikel ein, so dass viele Pelite schon zu den krystallinischen Schiefern hinneigen und nur schwer von denselben getrennt werden können. Die chemische Zusammensetzung dieser Pelite ist variabel, es sind meist mehr oder weniger kalkreiche Thongesteine.

Nach dem Grade der Erhärtung unterscheidet man

Thonschiefer, dem Phyllite nahe stehend, ziemlich reich an krystallinen Gemengtheilen (Thonschiefernädelchen), mit ausserordentlich entwickelter Schichtung, daher in feine Platten spaltbar (Dachschiefer, ein sehr ebenschiefriger Thonschiefer, Tafelschiefer, ein durch kohlige Substanzen schwarz gefärbter Schiefer); Griffelschiefer sind Thonschiefer, welche infolge ihrer Schichtung und Schieferung sich in Stengel und griffelförmige Stifte spalten lassen.

Schieferthon, von derselben chemischen Zusammensetzung wie der Thonschiefer, aber weniger fest und weniger leicht in Platten spaltbar. Zerfällt an der Luft in thonige Materialien. Häufig mit kohligen Substanzen imprägnirt (Kohlenschiefer) oder reich an Bitumen (Brand- und Oelschiefer, Asphaltschiefer). Der Kupferschiefer ist ein mit Schwefelkupfer sehr stark imprägnirter Schieferthon.

Vulkanische Trümmergesteine, vulkanische Tuffe sind die cämentirten, losen, vulkanischen Auswürflinge der Schlacken, Sande und Aschen, welche bei der Verkittung meist eine ziemliche Alteration ihrer ursprünglichen Beschaffenheit erlitten haben. Nach der Grösse der sie aufbauenden Gemengtheile erscheinen die vulkanischen Trümmergesteine als Psephite, Psammite, Pelite; nach der Art ihrer Componenten kann man Porphyr-, Diabas-, Melaphyr-, Trachyt-, Basalttuffe unterscheiden. Schalstein ist ein thonschieferähnlicher Diabastuff, Palagonittuff eine Abart des Basalttuffes; Trass nennt man in der Rheinprovinz (Laacherseegegend) und im Riess einen Trachyttuff, welcher einen hydraulischen Mörtel liefert, dasselbe bezeichnet Puzzolan bei Neapel. Peperin ist ein polygener Tuff des Albanergebirges.

Die losen Trümmergesteine werden repräsentirt durch meist eckigen Gebirgsschutt, aus den losen Trümmern hoher Felswände bestehend, durch die Ablagerungen loser runder Gerölle, sowie durch Sandmassen. Die feinsten Trümmergesteine bestehen nicht bloss aus mechanisch entstandenen Trümmern, sondern auch aus solchen, welche bei Verwitterung von Gesteinen sich gebildet, welche jedoch eine Umlagerung bereits erlitten haben. Man bezeichnet diese Trümmergesteine als limmatische.

Thon (plastischer Thon, Töpferthon, Clay), in idealer Gestalt ein wasserhaltiges Thonerdesilikat. Trocken: hart und rissig, feucht: plastisch. Thone saugen begierig Wasser, Salzlösungen, Oele und Fette ein; nach dem Aufsaugen des Wassers bilden sie einen quellbaren, schneidbaren Teig, der das Wasser mit solcher Kraft festhält, dass er über 70 % davon aufnehmen kann, ohne es als Tropfen wieder von sich zu geben. Beim Austrocknen zieht sich der feuchte Thon zusammen und berstet; ein kleiner Theil des Wassers im Thone geht erst bei der Glühhitze fort, es brennt sich der Thon und büsst dabei seine Fähigkeit, plastisch zu werden und Wasser zu halten, ein. Thon von den angedeuteten Qualitäten ist ziemlich selten, meist ist er verunreinigt.

Letten ist ein eisenreicher, fetter Thon von meist rother Farbe.

Tegel nennt man den kalkreichen, mergeligen Thon des Tertiärs im Wienerbecken.

Flinz ist der ähnlich beschaffene Thon im Tertiär Südbayerns.

Alaunthon, ein mit Schwefeleisen und Bitumen imprägnirter Thon, dessen Beimengung an der Luft oxydirt.

Opalinus-, Ornaten, Wealden-, Speeton-, Hils- und Londonthon sind Bezeichnungen gewisser geologischer Horizonte, ohne feste petrographische Bedeutung.

Lehm ist ein verunreinigter Thon mit geringem Kalk- und Eisengehalt, welcher häufig klastische Elemente in sich erkennen lässt.

Der Geschiebelehm Nordeuropas, der Blocklehm Süddeutschlands, der Till Schottlands sind lehmige Gesteine, in welchen mehr oder minder grosse Gesteinsfragmente eingebettet sind. Die ganze Ablagerung ist ursprünglich sehr zähe und äusserst fest gepackt. Ursprünglich ist die Farbe dieses Geschiebelehms blau, durch Oxydation des in ihm enthaltenen Eisens wird er braun.

Der Löss, in Galizien fälschlich Blocklehm genannt, ist ein ausserordentlich feiner, der Regel nach kalkhaltiger Gesteinsstaub, von sehr

homogener Zusammensetzung. Verwitternd geht der Löss in normalen Lehm über, vor welchem er sonst durch seine ausserordentliche Porosität im trockenen Zustande ausgezeichnet ist.

Tschernosem ist ein humoser Löss, welcher in Russland und Sibirien weit verbreitet ist.

Vulkanische Schlacken, Sand und Asche sind die in ihrer Beschaffenheit sehr schwankenden, losen, vulkanischen Trümmergesteine. Ihre Zusammensetzung weicht bisweilen von jener ab, welche die mit ihnen zugleich ausgeworfenen Gesteine zeigen.

Es mögen hier noch schliesslich einige Gesteinsarten von thonigem Habitus angereiht werden, welche als Verwitterungsprodukte (s. Cap. 2) auftreten, die in situ geblieben sind, also keine Sedimente darstellen. Hierher gehören:

Kaolin, das Verwitterungsprodukt orthoklasreicher Granite und Porphyre;

Laterit, ein eisenreicher Thon, welcher in Ostindien, Mittelafrika und Brasilien als Verwitterungsprodukt von eisenreichen, krystallinischen Schiefern und Basalt auftritt;

Nyiriok, ein Verwitterungsprodukt von Trachyten in Ungarn; verschiedene

Lehmarten (Argile à silex, clay with flints), sowie auch

Terra rossa, welche beide letzteren Arten als Verwitterungsrückstand anscheinend reiner Kalke auftreten. Die

Dammerde endlich ist das durch Pflanzenwuchs und menschliche Thätigkeit modificirte Verwitterungsprodukt sämmtlicher Gesteine (Cap. 2).

ZWEITES CAPITEL.

Physikalische und chemische Veränderungen der Erdkruste.

Die in Cap. I geschilderten Bodenbestandtheile erleiden, soweit sie mehr oder weniger oberflächlich sich befinden, gewisse Veränderungen, die sich besonders auf den Aggregatzustand, die Structur derselben, z. Th. auch auf die chemische Zusammensetzung beziehen. Indem wir nun vorläufig absehen von jenen Veränderungen der Erdoberfläche, die überall dort auftreten, wo Wassergewalt transportfähiges Material vorfindet, um es mit sich zu tragen und an entfernten Orten zu deponiren und die als mächtiger geologischer Factor in dem Aufbau der Erdoberfläche zur Bildung des Alluviums, des Schwemmlandes führen (vergl. Theil II), wollen wir nur jenen Processen in den oberflächlichen Bodenschichten, die hauptsächlich zur Aenderung der Cohäsion und damit auch des hygienischen Charakters der Bodenoberfläche führen, unsere Aufmerksamkeit zuwenden und in welcher die hauptsächlichste Rolle

a) die Verwitterung

spielt. Der Verwitterungsprocess besteht in einer combinirten Wirkung physikalischer und chemischer Agentien der Atmosphäre auf die Gesteine und bewirkt, dass allmählich krystallinische und klastische Gesteine in lose Trümmermassen und Gebirgsschutt umgewandelt werden. In erster Linie ist es der Temperaturwechsel, die wechselnde Erwärmung und Abkühlung, die den Zusammenhang in etwas lockert, zu Rissen, Sprüngen, Spaltbildungen führt und so wieder anderen Agentien den Zutritt ins Innere vermittelt. Es erfolgt dies besonders dann, wenn das die Gesteine zusammensetzende Material nicht homogen ist. Das Verhalten der verschiedenen Boden arten gegenüber der Wärme ist nämlich (vergl. Cap. IV) ein wechselndes, je nach der mineralogischen Zusammensetzung, nach Farbe, Structur, Oberfläche, Exposition, Wassergehalt u. s. w., so dass die durch die Wärme herbeigeführte Ausdehnung resp. Zusammenziehung innerhalb einer aus verschiedenartigem Material zusammengesetzten Felsart eine verschiedene sein muss.

Nach Senft [1]) werden 1. Felsarten, welche aus einem Gemenge von weisslichen und schwärzlichen Mineralarten bestehen, an ihrer Oberfläche weit rascher und stärker rissig als Felsarten, deren Gemengtheile weiss und aschgrau oder dunkelgrau und schwarzgrün, also in ihrer Färbung sich ähnlich sind;

wird 2. von zwei Felsarten, welche ganz gleiche Bestandtheile besitzen, diejenige, deren Gemenge grosskörnig ist, so dass der Farbenunterschied der einzelnen Gemengtheile grell absticht, schneller rissig und locker als diejenige, deren Gemenge feinkörnig und so dicht ist, dass man die einzelnen Minerale in ihrer Färbung nicht mehr voneinander unterscheiden kann. So verwittert der grobkörnige Diorit weit rascher als der Aphanit, trotzdem beide aus grauweissem Oligoklas und schwarzer Hornblende bestehen; der grobkörnige Dolerit rascher als der dichte Basalt, trotzdem beide aus grauem Labrador und schwarzem Augit bestehen.

Es sind vorzüglich die Verschiedenheiten in der Wärmecapacität, der Wärmeabsorption und -emission und der Wärmeleitung, die durch diese verschiedenen Eigenschaften der Materialien bedingt sind und so die Differenzen im Ablauf der Verwitterung herbeiführen.

An diese durch Temperatureinflüsse bedingten Continuitätstrennungen schliesst sich dann noch die Wirkung des Wassers an,

---

1) F. Senft, Der Steinschutt und Erdboden nach Bildung, Bestand, Eigenschaften, Veränderungen und Verhalten zum Pflanzenleben. 1867.

indem dieses allmählich in die Poren eindringt und infolge der beim Gefrieren eintretenden Volumszunahme die Partikel auseinandertreibt und zersprengt. Es ist dies abermals eine, wenn auch nur mittelbare, Wärmewirkung.

Das Wasser übt aber auch im flüssigen Zustande mechanische Wirkung aus, insoferne es beim Fallen, Fliessen ununterbrochen die Felsen mechanisch angreift, kleine Partikel von ihnen loslöst und weiter transportirt, sie auf dem weiteren Transport als Werkzeuge zu weiteren Zerstörungen, Abreibungen benutzend. Enthalten die Massen unter ihren Gemengtheilen Thon, so wird dieser Bestandtheil allmählich erweicht und fortgeschlemmt, also das Gefüge gelockert, indem ja der Thon in vielen Fällen das Bindemittel für das Gerölle, den Sand abgibt.

Sodann wirkt das Wasser zerstörend auf die Felsen, indem es als Vehikel für verschiedene Stoffe dient (Sauerstoff, Kohlensäure), welche chemische Veränderungen in den Bodenbestandtheilen herbeiführen, und zur Auflösung einzelner derselben Veranlassung geben. Auch direct übt das Wasser chemische Wirkung aus, indem es als Hydratwasser in neu sich bildende Verbindungen eintritt (Umwandlung von Eisenoxydul in Eisenoxydhydrat, von Anhydrit in Gyps).

Vorwiegend auf chemischem Wege wirken Sauerstoff, Kohlensäure, Ammoniak, Salpeter- und salpetrige Säure, als Bestandtheile der Atmosphäre. Auf diese Weise werden viele Gesteine, wie Granit, Kalkstein, Sandstein, Thon, welche kleine Mengen von Eisen in Form von Eisenoxydulsilikat oder von Eisencarbonat enthalten, indem sich unter dem Einfluss des Sauerstoffs und des Wassers Eisenoxydhydrat bildet, aufgelockert bis zu schaliger, kugeliger Absonderung. In Feldspath führenden Gesteinen (wie Granit, Porphyr, Trachyt, Gneiss, Granulit u. s. w.) unterliegt der Feldspath unter dem Einflusse von kohlensäurehaltigem Wasser dem sog. Carbonisirungsprocesse, indem die Alkalien und die Kalkerde des Feldspaths als kohlensaure Salze fortgeführt werden, ein Theil der Kieselsäure frei wird und wasserhaltige, kieselsaure Thonerde als Porcellanerde oder Kaolin zurückbleibt. Die Gesteine zerfallen infolge dessen in Gries. In den Kalksteinen löst kohlensäurehaltiges Wasser den kohlensauren Kalk als Bicarbonat auf und verursacht durch die Wegführung desselben aus dolomitischen Gesteinen die cavernöse Structur desselben und deren Zerfall zu Pulver und Gries.

Endlich tritt auch die Thätigkeit organischen Lebens, das Wachsthum der Pflanzen, in mannigfacher Wirkungsweise hinzu. Indem sich Pflanzen, z. B. Flechten, an der Oberfläche von Felsmassen niederlassen, verändern sie in erster Linie den physikalischen Charakter

derselben. Sie machen die Oberfläche weich, verändern das Wärmestrahlungsvermögen, verhindern den raschen Abfluss des Wassers, halten die Feuchtigkeit fest, lockern den Zusammenhang, indem sie allmählich in die Tiefe wachsen. So werden helle, dichte Kalksteinfelsen, die an und für sich der Verwitterung sehr lange widerstehen, sobald sich auf denselben Flechten angesiedelt haben, bald an der Oberfläche mürbe, rissig, löcherig. Und nicht blos durch ihre Lebensthätigkeit wirken die Pflanzen als Agentien der Verwitterung. Im abgestorbenen Zustande sind sie die Veranlassung, dass sich nun andere, höher organisirte Pflanzen, die bereits einen etwas vorbereiteten Boden benöthigen, ansiedeln können. Ausserdem aber geben die abgestorbenen Pflanzen durch die sich entwickelnden Verwesungssubstanzen (Humus, Humussäure) Veranlassung zu weiteren Zersetzungen.

Diese Agentien wirken, wie wir sehen, nicht gleichmässig zerstörend auf alle Bodenarten. Je kieselsäurereichere Silikate wir z. B. vor uns haben, desto schwieriger werden sie von dem kohlensäurehaltigen Wasser zersetzt und zwar die kalihaltigen wieder schwieriger als die natronhaltigen. Am leichtesten verwittern jene Silikate, die einen hohen Kalkgehalt haben. Auch nach der geographischen Lage, den klimatischen Verhältnissen, variirt die Raschheit der Verwitterung. In der Polarzone, in der Region des ewigen Eises, geht der Verwitterungsprocess weit langsamer vor sich, als in der gemässigten Zone. Auf diesem Wege der Verwitterung lösen sich nun ganze Schutthalden von den Kämmen und Gehängen des Gebirges los und gelangen theils durch freien Fall, theils mit Hilfe von Lawinen und Wasser in die Tiefe. Die Bildung von Blockgipfeln, Felsmeeren, Höhlen wird hierdurch befördert und der geologische Charakter mancher grossen Gebiete wird durch diese Processe der Verwitterung beeinflusst.[1]) Damit kann aber auch der gesundheitliche Charakter einer Gegend eine vollständige Umänderung erleiden. Ein schönes, recht charakteristisches Beispiel hierfür führt uns Friedel [2]) in seiner Schilderung der Bodenbeschaffenheit von Cantons Umgebung vor. „Nackte Granitfelsen, von den heftigen, tropischen Regengüssen abgewaschen, zeigen nur da, wo die Abhänge eine gewisse Abschüssigkeit nicht übersteigen, etwas Vegetation an Sträuchern und Bäumen. Ueberall ist der Verwitterungsprocess des harten Gneiss und des noch härteren Granites von einer Rapidität und Intensität gewesen, dass man noch fast

1) Vergl. neben den Lehr- und Handbüchern der Geologie auch E. van den Broeck, Memoire sur les phénomènes d'alteration des depôts superficiels par l'infiltration des eaux méteoriques. Bruxelles 1881.

2) C. Friedel, Beiträge zur Kenntniss des Klimas und der Krankheiten Ostasiens. 1863. S. 127.

in diesem Jahrhundert eine bedeutende Reduction ihrer Dimensionen erwarten kann." In den, im Jahre 1842 noch, nur mit Meissel und Sprengmaterial zu behandelnden Wänden eines frischen Durchstichs durch eine solche harte Granitbergkette konnte man um das Jahr 1860 8—10" tief mit einem Stocke hineinbohren, bis man in der Tiefe auf das noch unzersetzte harte Gestein traf. „Je mehr aber die Bergspitzen abgewaschen werden, desto mehr gewinnen die Thäler und ihre terrassirten Felder, auf denen die vom Regen geschlämmten Verwitterungsprodukte der Gipfel sich in immer neuen und bekanntlich sehr fruchtbaren Schichten absetzen. So entstehen allmählich auf Kosten der Gipfel und Höhen gleichförmige, reiche Alluvialebenen und in diesen nicht selten Malariaherde. Man hat es vielfach leugnen wollen, dass verwitternder Granit eine Quelle von Malaria sei; aber man hat sich mehr an das Wort als an den Sinn gehalten. Der Granit selber ist freilich nicht die Ursache, wohl aber die Thäler und Schluchten, auf deren Sohle der ausgeschwemmte Detritus abgelagert ist."

Bei dieser Gelegenheit sei auch eines weiteren Gesichtspunktes gedacht, der uns die Verwitterung als eine hygienisch bedeutsame Veränderung des Bodens erscheinen lässt. Die Ungleichmässigkeit in dem Ablaufe dieser Erscheinung erstreckt sich nicht blos auf die grössere oder geringere Schnelligkeit des Zerfalls, sondern auch auf die Art des Zerfalls.

Wir führen als Beispiel für diese Unterschiede die Resultate einer experimentellen Untersuchung von HILGER[1]) an. Er experimentirte mit: 1. Stubensandstein aus der Umgebung von Erlangen (in Stücken von 10—20 Mm. Durchmesser); 2. Personatussandstein aus dem fränkischen Jura, (dasselbe Korn); 3. Jurakalk von Hetzlas (in Stücken von 4 1/2 bis 6 1/2 Mm.); 4. Glimmerschiefer von Munzig bei Meissen, (dasselbe Korn).

Nachdem die meteorologischen Einflüsse durch 3 Jahre eingewirkt hatten, zeigte der Zerfall folgende Grade:

Material	Weisser Stubensandstein	Personatus-Sandstein	Weisser Jurakalk	Glimmer-Schiefer
Ursprüngliches Korn .	34,2 %	46,4 %	96,6 %	51,5 %
Grobsand (entsprechend den Rückständen des Siebes 2 u. 3 d. KNOP'schen Siebsatzes, S. 34)	18,3 (25,6)	22,6 (46,8)	3,3 (89,4)	39,6 (82,5)
Feinsand	53,8 (75)	1,27 (2,6)	0,16 (4,3)	7,27 (15,1)
Feinerde	— (0)	24,4 (50,5)	0,23 (6,2)	1,1 (2,3)

1) A. HILGER, Landwirthschaftliche Jahrbücher. VIII. 1879. — Jahresbericht der Agriculturchemie. 1879.

Nicht blos, dass die Extreme dieser Beobachtungen zwischen 3,4 und 65,8 % zerstörten Materials schwanken, sehen wir auch eine bedeutende Verschiedenheit in der Beschaffenheit der gebildeten Produkte. Es wird dies besonders dann ersichtlich, wenn wir die in Parenthese beigesetzten Zahlen berücksichtigen, die das Procentverhältniss der verschiedenartigen Zerfallsprodukte zu der Gesammtmenge der Zerfallsprodukte angeben. Da sehen wir denn, dass beim Personatussandstein das feinste Korn überwiegt (50,5 % der Zerfallsmasse), während beim weissen Jurakalk, wo auch der Zerfall am langsamsten vor sich geht, der Grobsand das grösste Contingent stellt. Abgesehen nun von der Wichtigkeit dieser Vorgänge für die Fragen der Permeabilität für Luft und Wasser, der Wärmecapacität u. s. w. (Cap. III), die, wie wir später sehen werden, von der Grösse des Korns beeinflusst werden, kommen sie besonders in Betracht bei der Frage der Staubbildung. Die Bildung des Staubes resp. der Transport desselben durch die Luft hängt, soweit das Material an und für sich hierfür in Betracht kommt, von der Grösse der Partikelchen, dann aber auch von der Beschaffenheit, den physikalischen und chemischen Eigenschaften derselben ab. Muss ja auch z. B. das specifische Gewicht des Materials auf die grössere oder geringere Fähigkeit, von der Luft transportirt zu werden, von Einfluss sein. Es hat diese Frage ihre besondere Wichtigkeit; denn durch den Staub kann der Boden in directe Beziehung zu unserem Organismus gelangen; indem der Staub sich der Luft beimengt, gelangt er auf die Haut, die Schleimhäute und besonders in die Athmungsorgane. Wenn wir nun auch für gewöhnlich bei den Inhalationskrankheiten nicht gerade an den Staub, der vom Boden stammt, denken, so ist doch wieder zu beachten, dass mit dem Staube Theile von jenen Stoffen in die Luft gelangen, die als Bodenverunreinigung von grosser hygienischer Bedeutung sind. Die meist in einem flüssigen Medium suspendirten, niederen Organismen, Fäulniss- und wohl auch Krankheitsorganismen, die auf und in den Boden gelangen, trocknen ein, die Bodenoberfläche oder die Bodenbestandtheile einhüllend, um schliesslich, nachdem die Bodenconstituenten jene oben geschilderte Metamorphose der Verwitterung durchgemacht haben, mit den feinsten Partikelchen in die Luft und mit dieser an die Menschen zu gelangen.

b) Veränderung durch die Lebensthätigkeit des Menschen.

Die oberste Schichte der Erdkruste, die Rindenlage, die theils aus grösseren und kleineren Steintrümmern, dem Fels- oder Steinschutt, theils aus krümeligen oder staubkörnigen Massen, dem so-

genannten Erdboden, besteht, ist aus der Zerstörung und Zersetzung der Felsarten entstanden. Diese Zerstörung führt schliesslich zur Bildung der Erdkrume, jener pulverigen oder krümeligen Substanz, welche bei vollständiger Verwitterung von kieselsauren Mineralien als letzter, nicht weiter durch Verwitterungsagentien zersetzbarer Rest übrig bleibt und die in den meisten Fällen mit humusartigen Substanzen untermischt ist. So lange wir es noch mit einem Boden zu thun haben, der auf natürlichem Wege, nur durch die Wirkung äusserer, ausserhalb der Menschen liegender Kräfte entstanden ist, mit einem vom Menschen noch nicht aufgewühlten, nicht bearbeiteten Boden, der noch durch keine äussere, künstliche Gewalt aus seinem ursprünglichen Zusammenhang gebracht ist, nennen wir ihn einen gewachsenen Boden. Die Bodenoberfläche erleidet aber noch immer wichtige Veränderungen, die durch die Lebewesen auf derselben hervorgebracht werden, durch die Bewohnung, Cultur, Bebauung derselben, durch Anfüllung mit den Producten menschlichen und thierischen Stoffwechsels, mit den Abfällen des menschlichen Haushalts, der Gewerbe und Fabriken u. s. w., so dass im Lauf der Jahrzehnte und Jahrhunderte mächtige Schichten eigenartigen und oft hygienisch nicht unbedenklichen Charakters entstehen können. Schliemann [1]) musste in seinen Ausgrabungen auf dem Plateau von Hissarlik in der Troas erst eine Schichte von 16 Mt. durchdringen, bis er auf den eigentlichen Urboden der Troade gelangte und stiess dabei auf Lagen, Straten, die nach den in denselben gemachten Funden als Residua verschiedener Generationen und Bevölkerungen sich unterscheiden. Auf das Stratum der obersten, griechischen Stadt Ilion, von der Oberfläche bis 2 Mt. Tiefe, folgten hintereinander die Straten von sechs verschiedenen Städten oder Ortschaften, von denen jede folgende auf den von Schutt bedeckten Trümmern der früheren entstanden war. In Wien findet sich nach Süss [2]) bis zu 30 und 34 Fuss und noch tiefer an einzelnen Orten ein unregelmässiger Wechsel von Lehm, Sand und Geschieben, die in den meisten Fällen mit Ziegelfragmenten gemengt sind, mit Stücken von Bruchsteinen, Scherben von irdenen Gefässen, Glassplittern, oft mit zahlreichen Gebeinen von Menschen und Hausthieren, mit Münzen, Waffen u. s. w., Anhäufungen, die mit dem Worte Schutt, in neuerer Zeit auch mit dem Ausdrucke Füllboden bezeichnet werden. Der Boden der Veste Marienberg [3]) bei Würzburg erscheint auf den ersten Blick als

1) H. Schliemann, Ilios, Stadt und Land der Trojaner. 1880.

2) E. Süss, Der Boden der Stadt Wien. S. 89.

3) A. Welz, Typhus auf der Veste Marienberg. Münchener ärztl. Intelligbl. 1878.

solide Felsmasse, doch bei genauerer Untersuchung und an der Hand geschichtlicher Aufzeichnungen lässt sich nachweisen, dass der ursprüngliche Bergkegel im Laufe der Zeit planirt und aufgeschüttet wurde; besonders nach dem 30jährigen Kriege, zu welcher Zeit bis zu 24 Fuss dicke Mauern aufgeführt und die Lücken hinter denselben mit Schutt und dem aus den Gräben ausgehobenen Boden ausgefüllt wurden. Diese Aufschüttungen können innerhalb einer und derselben Gegend, sowohl nach ihrer Mächtigkeit als auch nach ihrer Beschaffenheit bedeutenden Schwankungen unterworfen sein; so nimmt nach Liévin[1]) in Danzig, genau wie die Entstehung der einzelnen Strassen in der Zeit sich folgte, die Beschaffenheit der Aufschüttungen, welche in dem Sumpfboden der Erbauung der Häuser voranging, an Güte und Mächtigkeit ab. Die der Zeit nach am frühesten entstandenen Strassen zeigen z. Th. bis zu einer Tiefe von 4,5 Met. eine vortreffliche Aufschüttung von ursprünglich reinem Sande; in den später angelegten Strassen wird der Sand mehr und mehr mit Schutt und Erde versetzt, letztere wird immer unreiner, bis schliesslich in einer der jüngeren Gassen (in der Tobiasgasse) die Aufschüttung nur noch aus höchst schmutziger, mooriger Erde mit animalischen und vegetabilischen Resten besteht. Etwas Aehnliches wurde von Colding und Thomsen aus Anlass der Choleraepidemie 1853 in Kopenhagen constatirt. Es ist einleuchtend, dass derartige künstliche Bodenbildungen mit der Zeit scheinbar den Charakter des gewachsenen Bodens annehmen.

Die Beschaffenheit dieses Füllbodens ist bei der Wahl eines Bauplatzes besonders zu berücksichtigen und genau zu untersuchen, auch auf den Gehalt an menschlichen und thierischen Abfallstoffen; doch müssen wir bei der Beurtheilung eines derartigen Bodens im Allgemeinen uns gegenwärtig halten, wie lange derartige Aufschüttungen bestehen; wie später gezeigt werden soll, können die aus einer solchen ungeeigneten Bodenaufschüttung resultirenden hygienischen Nachtheile unter günstigen Bedingungen mit der Länge des Bestehens allmählich abnehmen.

DRITTES CAPITEL.

Beziehungen der Bodenbestandtheile zur Luft und zum Wasser.

I. Porosität.

Entsprechend den in der Einleitung gekennzeichneten Gesichtspunkten, die vor Allem auf das Eindringen von Stoffen und

1) Liévin, Ueber die Sterblichkeit in Danzig in den Jahren 1863—1879.

Körpern in den Boden und auf ihr Austreten aus demselben gerichtet sind, muss die Porosität des Bodens eine eingehende Würdigung finden, da in ihr für diese Vorkommnisse eine wesentliche Bedingung gelegen ist. Freilich werden wir mit dem rein physikalischen Begriffe dieser Eigenschaft kaum unser Auskommen finden. In diesem Sinne ist sie ja die Eigenthümlichkeit aller Körper, kein stetig erfülltes Ganze zu bilden, sondern eine Menge Poren oder Lücken zu enthalten, die durch das zufällige Resultat einer unvollkommenen Vereinigung vorher gebildeter Körner entstanden sind.[1]) Das Eindringen der Farbe in marmorne Farbenreiber, das Entweichen von Bitumen aus dichtem Feuerstein und ähnliche Thatsachen sprechen dafür, und es könnte demnach von einem nicht porösen Boden gar nicht die Rede sein.[2])

Wenn nun dennoch in der Bodenlehre sowohl vom agriculturphysikalischen, als auch vom hygienischen Standpunkte aus der poröse Boden dem nicht porösen Boden gegenüber gestellt wird, so geschieht dies mit dem stillschweigenden Uebereinkommen, dass man jene Körper, bei denen das Volumen der einzelnen Poren ein derartig kleines wird, dass ein Austausch zwischen den sie erfüllenden Stoffen und denen der Umgebung bei einer gewissen Dicke des Körpers unmöglich ist, wie z. B. bei Glas-, Metall- und Steinplatten, die ja zu luft- und wasserdichten Abschluss von Räumen verwendet werden, einfach als aporös ansieht.

Von diesem Standpunkte hätten wir in der petrographischen Charakteristik des Bodens auch gleich einen Anhaltspunkt für die Porosität; als aporös hätten im Allgemeinen die Massengesteine und nicht kla-

---

1) Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. 1871.

2) Die Wasserabnahme, welche die sogenannten Enhydros, die Wasser einschliessenden Chalcedonmandeln von Uruguay, mit der Zeit erleiden (Knop, Gümbel), dürfte nicht als Folge der Porosität aufzufassen sein. Diese Enhydros gehören zu den sogenannten Achatmandeln, welche mehr oder weniger dicke Ueberrindungen oder Schalenbildungen und Ausfüllungen von Blasenräumen eruptiver Gesteine aus verschiedenen Varietäten von Quarz, sogenannten Chalcedon und Achat darstellen. Dieser übrig gebliebene Hohlraum ist nun mit einer Flüssigkeit und in der Regel mit einer Gasblase erfüllt. Im Laufe der Zeit verdunstet dieses eingeschlossene Wasser. In den Versuchen Knop's waren innerhalb 42 Tagen 0,0230 Grm. Flüssigkeit verdunstet. In den bei erhöhter Temperatur (80—90°) angestellten Versuchen Gümbel's waren in 100 Tagen 1,3423 Grm. verdunstet. Ganz entsprechend nehmen diese Steine durch Einlegen in Wasser wieder Flüssigkeit auf. Nach den Untersuchungen Gümbel's (Sitzungsberichte der mathem.-physikal. Classe d. k. bayr. Acad. d. Wissenschaften 1881) handelt es sich hier um feine Kanäle, noch nicht völlig geschlossene Infiltrationspunkte etc., durch welche eine Communication mit der äusseren Luft, also eine Verdunstung möglich ist.

stischen Schichtgesteine zu gelten. Dagegen müssten die aus klastischen Schichtgesteinen aufgebauten Bodenarten zu den porösen gezählt werden. Eine exquisite Porosität werden alle Arten Trümmergesteine zeigen, besonders wenn die sie zusammensetzenden Trümmer lose aneinandergereiht, nicht durch Caement verkittet sind.

Es ist jedoch auf einen Umstand zu achten, der, wenn bei er Beurtheilung der Bodenporosität vernachlässigt wird, zu vollkommen falschen Schlüssen führen kann. Die Petrographie lehrt uns, dass das die Erdrinde zusammensetzende Material, die Gesteine, Fels- oder Gebirgsarten entweder als feste Massen, als erhärtete Gebirgsarten, Felsen, oder als lockere und lose Anhäufungen sich darbieten. In letzterem Falle wird nun das Resultat unserer Untersuchungen ein ganz verschiedenes, je nachdem wir die einzelnen Fragmente dieser Anhäufungen auf ihre Porosität hin ansehen oder aber diese Anhäufungen als Ganzes auffassen, welche Auffassung gerade in hygienischer Beziehung meistens ihre Geltung hat. Es kann ein Boden aus ganz compacten, aporösen Gesteinen zusammengesetzt sein; als Ganzes ist er jedoch, da diese Fragmente lose nebeneinander liegen, im hohen Grade porös.

Es genügt also keineswegs blos die Angabe der einen Boden zusammensetzenden Gesteinsart, um darnach die Porosität zu beurtheilen: ein weiteres unbedingtes Erforderniss ist auch die Kenntniss der Struktur, der Lagerung und Verbindung der einzelnen Elemente. Die einzelnen Bestandtheile eines Bodens können — mit dem oben ausgesprochenen Vorbehalte — in unserem Sinne vollkommen aporös sein, wenn sie z. B. aus Granit, Porphyr u. s. w. bestehen; sind dieselben jedoch in grösseren oder kleineren Partikeln, also als Trümmergesteine (Gesteinsgries, Gerölle, Geschiebe, Kies, Schotter, Sand) vorhanden und vielleicht nicht einmal verkittet, dann ist der Boden im Ganzen doch als durchaus porös zu betrachten, indem zwischen seinen einzelnen, wenn auch dichten Bestandtheilen sich massenhaft Hohlräume befinden. So kann auch eine und dieselbe Bodenart je nach dem Zustande, in dem sie gefunden wird, nach den Veränderungen, die sie erlitten hat (z. B. durch Verwitterung, durch Bearbeitung von Seiten der Menschen u. s. w.), nach Ort und Zeit verschieden, bald porös bald nicht porös erscheinen.

Ebenso darf aber auch das Vorkommen einer Gesteinsart in zusammenhängenden, mächtigen Lagern, in Form weitausgedehnter, ununterbrochener Felsmassen nicht zu dem Schlusse verleiten, dass es sich hier um einen compacten, aporösen Boden handelt. Es wurde schon hervorgehoben, dass die klastischen Schichtgesteine im

Allgemeinen zu den porösen gezählt werden müssen. Die Verbindung der einzelnen Trümmer durch den Caement ist selten eine so innige, dass nicht reichlich Lücken vorhanden blieben und der Caement selbst besteht vielfach aus einem porösen Material. Diese Gesteinsarten können in Form mächtiger, zusammenhängender Felsmassen auftreten, wie z. B. die Sandsteine, die Nagelfluh in der Schweiz (Rigi), in Bayern, u. s. w., und dadurch eine homogene, aporöse Beschaffenheit vortäuschen. Der Boden von Malta, mit Rücksicht auf die Verbreitungsweise der Cholera lange ein interessantes Streitobject, dem Ansehen nach homogener Felsboden, wurde lange Zeit zu den dichten, compacten, aporösen Bodenarten gezählt, bis die nähere Untersuchung durch PETTENKOFER erwies [1]), dass es sich hier um einen weichen, porösen Sandstein handelt, dessen Porosität so gross ist, dass die Summe der Hohlräume 28—33% des gesammten Bodenvolumens ausmacht, dessen Härte und Festigkeit so gering ist, dass er, anstatt mit dem Meissel, mit der Säge und dem Messer bearbeitet werden kann und dessen Poren so durchgängig sind für Wasser, dass aus diesem Material eigene, trichterartige Behälter gefertigt werden, die als Filter bei der englischen Marine verwendet werden. Aehnliches gilt vom Karstgebirge, das gleichfalls scheinbar als compacter Felsen auftritt und als solcher in der Choleraätiologie eine Rolle spielte [2]). Hier haben wir es vielfach mit einem Kalkstein zu thun, der eine wahrhaft überraschende Porosität zeigt, so dass das Wasser allenthalben durch den Boden hindurchsickert. Es genügt z. B., eine Vertiefung in den Felsen zu graben oder zu hauen, um auf diese Weise eine sog. Schwind- oder Versitzgrube anzulegen, in welche aller flüssiger Inhalt durch die Bodenporen hindurchsickert, sodass nur der feste Rückstand übrigbleibt. Tiefe Mulden des Terrains, sog. Trichter, „Dolinen", die ihrer Lage nach, als End- oder Zielpunkt der Wasserbewegung, das Drainagewasser von einem bedeutenden Umkreis empfangen, finden sich trotz starker Niederschläge frei von Wasser, da dieser Felsenboden das Wasser ebenso rasch oder noch rascher hindurchfliessen lässt, als ein Geröllboden.

Endlich ist stets bei der Würdigung eines Felsbodens vom hygienischen Standpunkte aus zu berücksichtigen, ob nicht Spalten und Klüfte in grösserer Menge vorhanden sind, die dann oft mit einem vom Felsboden ganz wesentlich verschiedenen, porösen Material ausgefüllt sind.

---

1) PETTENKOFER, Die Choleraepidemie auf Malta und Gozzo. Ztschr. f. Biol. VI.

2) PETTENKOFER, Die Cholera und die Bodenbeschaffenheit in der k. k. österr. Provinz Krain. Aerztliches Intelligenzblatt. München 1861.

Alle hier angeführten Thatsachen führen zu dem Resultate, dass wir in dieser Frage unser Urtheil weder auf allgemeine geognostische Angaben, noch auf Configuration, auf äussere Contouren u. dgl. bauen dürfen, sondern dass es stets auf einer detailirten Untersuchung an Ort und Stelle basiren muss.

Wir finden uns aber noch nach einer zweiten Richtung hingedrängt, nach der der quantitativen Betrachtung. Diesen Weg hat schon DELESSE[1]) im Jahre 1860 betreten. Seine Versuche können als Beispiele für die von uns oben aufgestellten Behauptungen dienen bezüglich der Unterscheidung zwischen porösem und compactem Boden (sowie bezüglich der Thatsache, dass ein sonst compacter Boden durch Bearbeitung, Zerkleinerung, zu einem sehr porösen werden kann). DELESSE untersuchte Fragmente von Steinen auf ihre Porosität, indem er sie in heisses, destillirtes Wasser eintauchte, sodann sorgfältig abtrocknete und die Gewichtszunahme bestimmte. Er ging von der Ansicht aus, dass diese Gewichtszunahme dadurch zu Stande komme, dass das Wasser in den Poren zurückgehalten werde, nachdem es die in denselben eingeschlossene Luft verdrängt.

Die so erhaltene Gewichtszunahme betrug bei:

Granit	0,06—0,12%,
Marmor (grau, sehr compact)	0,08%,
Thonschiefer	0,19%,
Retinit	0,20%,
Sandstein (Pflasterstein)	0,66—13,15%,
Phonolit	1,45%,
Gyps (gelblich, körnig, krystallinisch)	2,20%,
Basalt	3,03%,
Dolomit (halbkrystallinisch)	3,29%,
Trachyt	3,70%,
Oolit	6,94—7,33%,
Kalkstein	9,67—21,10%,
Kreide	24,1%,
Meerschaum	91,15%.

Nach dem, was vorausgeschickt wurde, werden wir die vier ersten Bodenarten dort, wo sie als Massengesteine in Form von ununterbrochenen Felsen auftreten, als compacte, aporöse ansehen. Dieses Verhältniss ändert sich aber sofort, sowie der Boden, sei es durch die Einflüsse der Witterung, sei es durch Einwirkung von Wasser, Eis, Gletschern, in grösseren oder kleineren Körnern und Trüm-

1) M. DELESSE, Recherches de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre. Annales des mines. 1860 und Recherches sur l'eau dans l'interieur de la terre. Bulletin de la société geologique de France. 1861/62. p. 64.

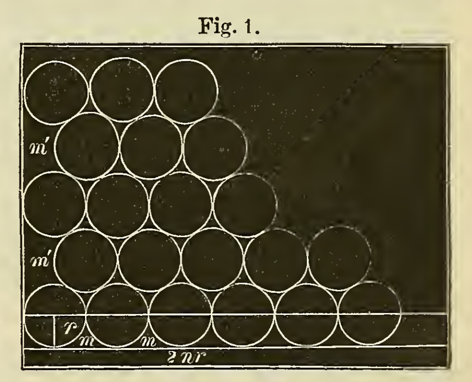
mern uns vorliegt; Granit, der als compactes Fragment 0,06 Gewichtsprocent Wasser aufnimmt, imbibirte sich als Pulver mit 27 % um 450 mal so viel (vgl. dieses Capitel Abschnitt V).

Von Wichtigkeit wäre es nun, die Gesammtporenmenge, das Verhältniss der Gesammtmenge der vorhandenen Poren zum Gesammtvolumen des Bodens, von Renk[1]) Porenvolumen genannt, stets feststellen oder annähernd berechnen zu können. (Man bezieht hierbei die gefundenen Zahlen nicht mehr auf das Bodengewicht, sondern auf das Bodenvolumen, wodurch man übersichtlichere Verhältnisse gewinnt, da auf diese Weise die durch das wechselnde specifische Gewicht hervorgerufenen Differenzen vermieden werden.)

Es lassen sich nun gewisse, allgemeine Gesetze über das Verhältniss zwischen Porenvolumen und Bodenvolumen auf theoretischem Wege feststellen, wenn man von der Voraussetzung ausgeht, dass man es mit einem einfachen, homogenen Bodenmaterial zu thun hat.

Lang[2]) und Flügge[3]) haben für den einfachsten Fall, dass es sich um Bodenelemente von vollständiger Kugelform und gleicher Grösse handelt, die Grenzen festgestellt, innerhalb deren das Porenvolumen im Verhältniss zum Bodenvolumen zu schwanken vermag. Diese Grenzen sind nach ihren beiden Extremen gegeben durch zwei Arten der Lagerung, welche die Kugeln gegeneinander einnehmen können, von denen die eine als die dichteste, die andere als die lockerste unterschieden werden kann.

Fig. 1.



In dem einen Falle, dem der dichtesten Lagerung (Fig. 1), ruht eine jede Kugel in dem Zwischenraume zwischen den benachbarten Kugeln derart, dass eine Ebene durch die Mittelpunkte dreier sich berührender Kugeln gelegt, den Hohlraum in einem Dreieck schneidet, welches von drei gleichen Kreisbogen (von 60°) gebildet wird. Ein Querschnitt, derart geführt, dass er das grösste Dreieck trifft, hat einen Umfang, dessen Grösse durch die

1) F. Renk, Ueber die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschrift für Biologie. XV.

2) C. Lang, Ueber Wärmecapacität der Bodenconstituenten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. I.

3) C. Flügge, Beiträge zur Hygiene. Leipzig 1879.

Formel πr ausgedrückt ist, und einen Flächeninhalt, der sich aus der Formel $\frac{1}{2} r^2(\sqrt{3}-\pi)$ berechnen lässt. Die Mittelpunkte von 4 sich unmittelbar berührenden Kugeln können als die Endpunkte eines Tetraëders von der Kante $2r$ aufgefasst werden. Die Berührungspunkte fallen mit den Halbirungspunkten der Kanten zusammen, und man kann sagen, der von den vier Kugeln gebildete Hohlraum ist jener Theil des Tetraëders, der von den Kugeln übrig gelassen wird.

Eine derartige Anordnung kugeliger Elemente führt zum Aufbau einer drei- oder vierseitigen regulären Kugel-Pyramide. Gehen wir von der vierseitigen Pyramide aus, so haben wir als Basis ein Quadrat, bei dem die Länge einer Seite $= 2nr$, (wobei n die Zahl der Kugeln an dieser Seite (Kante), r der Halbmesser einer Kugel ist). Daraus ergibt sich für den Cubikinhalt der Pyramide P die Formel:

$$P = V = \frac{(2rn)^3}{3\sqrt{2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1.$$

Kennt man nun auch die Zahl der Kugeln, die in der Pyramide vorhanden sind, so lässt sich aus der Differenz zwischen dem Volumen der Pyramiden und dem sämmtlicher Kugeln das Volumen der Poren feststellen.[1])

Die Zahl der in einer solchen Pyramide vorhandenen Kugeln lässt sich nach der Theorie der Pyramidalzahlen, in diesem Falle als Tetragonalpyramidalzahl, leicht berechnen[2]); sie beträgt, n, d. h. die Zahl der auf einer Kante befindlichen Kugeln, als sehr gross[3]) angenommen, $\frac{n^3}{3}$.

Das Volumen sämmtlicher Kugeln V_1 beträgt demnach

$$V_1 = \left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)\frac{n^3}{3} = \frac{4}{9}\pi n^3 r^3 \quad \ldots\ldots \quad 2.$$

Man findet daraus das Volumen der Poren durch Subtraction der beiden Gleichungen 2 und 1.

$$V - V_1 = \frac{8\, n^3 r^3}{3\sqrt{2}} - \frac{4}{9}\pi n^3 r^3 = \frac{4\, n^3 r^3}{9\sqrt{2}}(6 - \pi\sqrt{2}) \quad . \quad 3.$$

1) Flügge l. c. S. 59.

2) Encyklopädie der Naturwissenschaften. Handbuch der Mathematik, herausgegeben von Schlömilch. I. S. 145.

3) Diese und die folgenden Berechnungen gelten überhaupt nur dann, wenn diese Zahl n sehr gross gedacht wird, da nur in diesem Falle die an den Kanten befindlichen Hohlräume m und m^1 vernachlässigt, resp. den anderen gleichgesetzt werden können.

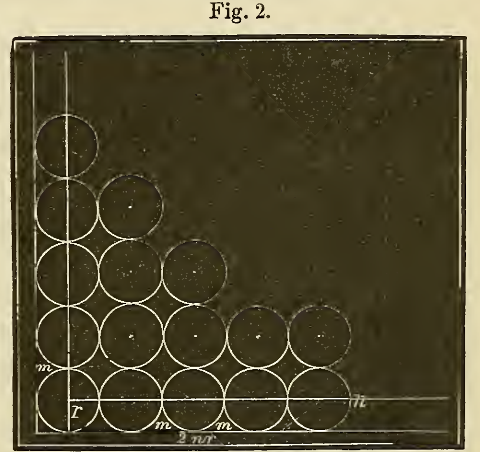
Das Procentverhältniss dieser Porensumme zum ganzen Volumen ist dann (Gleichung 3 zu 1):

$$x : 100 = \frac{4n^3r^3}{9\sqrt{2}}(6-\pi\sqrt{2}) : \frac{8n^3r^3}{3\sqrt{2}} \text{ oder}$$

$$x = 100 \cdot \frac{4 \cdot n^3r^3}{9\sqrt{2}}(6-\pi\sqrt{2}) \cdot \frac{3\sqrt{2}}{8r^3n^3} = \frac{100}{6}(6-\pi\sqrt{2}) = 25{,}95\,\% \quad 4.$$

Bei möglichst dichter Lagerung gleichartiger kugeliger Elemente beträgt also das Porenvolumen 26% des Gesammtvolumens. Hierauf ist der Radius der Kugeln ohne Einfluss, da wir sehen, dass er in der Formel 4 eliminirt wird. Diese Zahl 26 repräsentirt uns also jenes Minimum an Porenvolum, das bei gleichartigen, regelmässigen, kugelförmigen Bodenconstituenten und bei dichtester Anordnung zu erreichen ist.

Fig. 2.



Im zweiten Falle, dem der lockersten Lagerung oder Aufschichtung (Fig. 2), sind die Kugeln derart gelagert, dass die in den Berührungspunkten der Kugeln errichteten Tangentialebenen sämmtlich aufeinander senkrecht stehen (während sie sich im ersten Falle unter einem Winkel von 60° schneiden). Eine Ebene, durch die Mittelpunkte von vier sich berührenden Kugeln gelegt, schneidet den Hohlraum in einem Viereck, das von vier gleichen Kreisbogen (von 90°) gebildet wird, der Umfang ist durch die Formel $2\pi r$, der Flächeninhalt durch die Formel $r^2(4-\pi)$ ausgedrückt. Denken wir uns in Fig. 2 auf vier sich berührende Kugeln noch weitere vier Kugeln gelegt, so können die Mittelpunkte dieser acht Kugeln als die Eckpunkte eines Würfels von der Kante $2r$ angesehen werden. Die Berührungspunkte fallen mit den Halbirungspunkten der Würfelkanten zusammen, und man kann sagen, dass der von den acht Kugeln eingeschlossene Hohlraum jener Theil des Würfels ist, der von den Kugeln übrig gelassen wird.

Bei einer derartigen Anordnung bilden die Kugeln zusammen einen Würfel, der als Basis ein Quadrat besitzt, mit der Seite $2nr$,

wobei r den Halbmesser der Kugeln, n die Zahl der an einer Kante entlang aufgestellten Kugeln repräsentirt. Das Gesammtvolumen des Würfels beträgt sodann

$$V = (2nr)^3 = 8n^3r^3 \quad \text{. . . . . 5.}$$

Die Gesammtzahl der Kugeln im Würfel ist n^3, das Gesammtvolumen der Kugeln (V_1) demnach

$$V_1 = n^3 \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi n^3 r^3 \quad \text{. . . . . 6.}$$

Daraus ergibt sich die Gesammtgrösse der Poren

$$V - V_1 = 8n^3r^3 - \frac{4}{3} \pi n^3 r^3 = \frac{4n^3r^3}{3}(6-\pi) \quad \text{. . . . 7.}$$

Das Procentverhältniss dieser Porensumme zum Gesammtvolumen ist wieder (Gleichung 7 zu 5):

$$x : 100 = \frac{4n^3r^3}{3}(6-\pi) : 8n^3r^3 \text{ oder}$$

$$x = 100 \cdot \frac{4n^3r^3}{3} \cdot \frac{6-\pi}{8n^3r^3} = 100 \frac{(6-\pi)}{6} = 47{,}64 \quad \text{. . . 8.}$$

Bei möglichst lockerer Lagerung gleichartiger kugeliger Elemente beträgt das Porenvolumen 47,64 % des Gesammtvolumens und unter den oben ausgeführten Bedingungen kann diese Zahl als das Maximum der Porosität angesehen werden.

Vergleichen wir die Resultate experimenteller Untersuchungen mit dem Resultate des mathematischen Calculs, so finden wir keine vollständige Uebereinstimmung. Die Versuche Renk's [1]), die mit möglichst homogenem Material angestellt sind und sich auf eine Bodenart im mineralogischen Sinne beschränken, (Kies oder Schotter, Glacialschotter), liefern (willkürlich hervorgerufene) Schwankungen von 36,0 bis 55,5 %, die von Welitschkowsky [2]) solche von 35,2 bis 41,9 %. Die Ursache der mangelhaften Uebereinstimmung ist darin zu suchen, dass wir es bei dem in der Natur vorkommenden Material niemals mit vollkommen kugeligen Partikelchen zu thun haben, dass ferner diese nie vollkommen gleicher Grösse sind. Bei diesem letzteren Umstande wird das Porenvolumen dadurch, dass die kleineren Bodenpartikelchen in die Zwischenräumen der grösseren sich einlagern und dieselben ausfüllen, eine Abnahme erfahren, die um so grösser wird, je mehr die Summe resp. das Gesammtvolumen der kleinen Partikel derjenigen Grösse sich nähert, die das

1) F. Renk, Ueber die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschrift für Biologie. Bd. XV.

2) D. v. Welitschkowsky, Beitrag zur Kenntniss der Permeabilität des Bodens für Luft. Archiv für Hygiene II.

Porenvolumen der grösseren Partikel repräsentirt. Ist dieses Verhältniss gerade erreicht und die kleineren Kugeln sämmtlich, mit dichtester Lagerung, in die Hohlräume der grösseren Kugeln eingelagert, so lässt sich wieder das Porenvolumen rechnerisch bestimmen. Das Volumen der Poren zwischen den kleineren Kugeln beträgt natürlich wieder 26 %, aber nicht mehr des Gesammtvolumens der Pyramide resp. des Würfels, sondern nur jenes Theils, der mit den kleineren Kugeln ausgefüllt ist und dem ersten Porenvolumen entspricht. Dieses Volumen ist, das Volumen der ursprünglichen Pyramide gleich 100 gesetzt, nur noch 26; das Porenvolumen der nunmehr eingefügten Pyramide beträgt in % $\cdot \frac{26}{100} \cdot 26 = \frac{26^2}{100} = 6{,}76$. Wiederholt sich dieser Vorgang mit Kugeln noch kleinerer Dimensionen, so erhalten wir als Porenvolumen $\frac{26^2 \,.\, 26}{100 \,.\, 100} = \frac{26^3}{(100)^2} = 1{,}76\,\%$ u. s. w. in geometrisch fortschreitender Abnahme.

Anderseits wird es aber bei der Unregelmässigkeit der Partikel nicht leicht möglich sein, dieselben derart dicht aneinander zu lagern, dass diese Anordnung der oben erwähnten möglichst dichten Lagerung der Kugeln entspricht. Als relativ sicherstes Mittel fand Flügge (l. c.) für seine Versuche das durch längere Zeit fortgesetzte Einschlämmen mit Wasser. Er erhielt bei seinen Bestimmungen je nach dem Material und der Art der Einfüllung folgende Schwankungen in den Resultaten:

Material	Porenvolumen in %
Kies	38,4—40,1
Sand	35,6—40,8
Lehm	36,2—42,5
Kies und Sand zu gleichen Theilen . .	23,1—28,9.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, hier alle bisher bekannten Versuchsergebnisse über das Porenvolumen verschiedener Bodenarten, wie sie an meistentheils künstlich eingefüllten Bodenarten gewonnen wurden, zu besprechen; sie lassen doch nur eine Anwendung auf den speciellen Fall zu und können nur schwer allgemeinere Bedeutung gewinnen.[1])

Es ist jedoch noch ein Umstand zu berücksichtigen, der die Veranlassung abzugeben vermag, dass das gefundene Porenvolumen

---

1) Vgl. die S. 7 citirten Lehr- und Handbücher der Agriculturphysik und -Chemie, ferner die Arbeiten von John in: Die Regenverhältnisse Deutschlands von G. v. Möllendorff. Görlitz 1862, von Fleck in den Jahresberichten d. chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden.

mit dem berechneten nicht übereinstimmt. Die Berechnung setzt nämlich voraus, dass das Material in den einzelnen Fragmenten, in den sich aneinander lagernden Stücken wenigstens als aporös zu betrachten sei; dies ist aber nicht immer der Fall. Es hat z. B. für Kies, Quarzsand seine Geltung. Nicht mehr vollständig für Kalksand, noch weniger aber für Lehm und die Bröckeln der Dammerde, für Torf u. s. w. Die experimentellen Resultate werden dann dem berechnetem um so näher kommen, je feinkörniger das Material zur Anwendung kommt, weil dann die Zahl der durch Anlagerung entstehenden Poren gegenüber der in dem Material als solchen enthaltenen Poren eine immer grössere wird und gewissermaassen viele ursprünglich als Poren des Korns vorhanden gewesene Hohlräume sich in die durch Contact hergestellten umgewandelt haben. Deshalb finden wir auch in den von Wolff[1]) ermittelten Daten für das Porenvolumen, gewonnen durch Bestimmung des specifischen Gewichts bei fein gepulverten Bodenarten, keine zu grossen Abweichungen.

Boden	Porenvolumen in % des Bodenvol.
Schwarzer, humöser, kalkiger Lehmsandboden . .	56,8%
Sehr feinkörniger, sandiglehmiger Boden	55,3%
Boden mit ziemlich viel thoniger Substanz	48,1%
Sehr thoniger Boden	46,4%.

Der in der Natur vorkommende Boden, dessen Beschaffenheit zu untersuchen oft Aufgabe des Hygienikers ist, präsentirt sich diesen Untersuchungen gegenüber in einer etwas anderen Form als der den bisherigen erörterten Experimenten und Berechnungen zu Grunde liegende. Der sog. gewachsene, d. h. bisher durch keine äussere künstliche Gewalt aus seinem ursprünglichen Zusammenhang gebrachte Boden (S. 21) besteht in den seltensten Fällen aus einem völlig gleichartigen Material; meist sind es Conglomerate verschiedener Form, Grösse und auch verschieden chemischer, resp. mineralogischer Beschaffenheit, untermengt mit den Zersetzungsproducten der Verwitterung. Dadurch wird wohl meistens eine grössere Dichtigkeit erzielt werden müssen. Es wird eine bestimmte Anzahl Poren, die bei einem Material von gleicher Korngrösse unausgefüllt bleiben muss, von jenen Gesteinspartikeln, deren Volumen kleiner ist als das der vorhandenen Poren, in Beschlag genommen. Finden sich nun viele Abstufungen in der Grösse, so können allmählich fast alle grösseren Poren wieder durch Gesteinspartikeln gefüllt werden (S. 30). Wesentliche Mitwirkung gewährt hierbei der Regen, der eine Art natürlicher Einschläm-

1) E. Wolff, Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirthschaftlich wichtiger Stoffe. 1875.

mung bewirkt, und so wurde auch bei FLÜGGE's Versuchen durch Einschlämmung die dichteste Bodenlagerung erhalten. Auch mechanische Einwirkungen, Erschütterungen, Stösse tragen dazu bei, ein festeres Gefüge herbeizuführen und an der Oberfläche kann sich sogar eine Art Cämentirung ausbilden, mit veranlasst durch die bei der Verdunstung zurückbleibenden Salze.

So werthvoll nun die Angaben über das Porenvolumen des gewachsenen Bodens wären, so fehlen wegen der noch nicht vollständig genug ausgebildeten Methoden ausgedehntere Untersuchungen. FLÜGGE [1]) hob mittels eines Messingcylinders, den er in den Boden eintrieb, diesen in natürlichem Zustande heraus und bestimmte sein Porenvolumen in der Weise, dass er die Luft in demselben durch Kohlensäure allmählich vollständig verdrängte. Das austretende Gasgemenge wurde über Kalilauge aufgefangen, welche sämmtliche Kohlensäure absorbirte, während sich die Bodenluft in dem Auffangegefässe ansammelte und direct gemessen wurde. Er fand bei diesen in Berlin angestellten Versuchen folgende Verhältnisse:

	Porenvolumen in % des Bodenvolumens
Sandboden in 1,2 Met. Tiefe, seit circa 15 Jahren aufgeschüttet	43,1 %
Gartenerde, in 0,5 Met. Tiefe	46,1 %
Sandboden, in 1,5 Met. Tiefe, gewachsener Boden, 0,3 Met. über dem Grundwasserspiegel	35,5 %
Sandiger Lehm, gewachsener Boden, 0,5 Met. Tiefe .	32,7 %.

Diese Versuche, die hauptsächlich die Anwendbarkeit der Untersuchungsmethode erweisen sollten, erheben nach FLÜGGE noch keineswegs den Anspruch darauf, ein Maass oder eine Norm für den gewachsenen Boden zu geben; dazu fehlen auch genauere Detailsangaben über die Natur und Zusammensetzung des betreffenden Bodens. Was wir daraus schliessen können, ist nur, dass die Anordnung der Bodenpartikelchen auch in diesem gewachsenen Boden eine recht lockere sein musste, da sie dem berechneten Maximum 47,6% sehr nahe kommt.

Nach einer andern Methode untersucht v. SCHWARZ [2]) 4 in ihrer Beschaffenheit sehr differirende Bodenarten in gewachsenem Zustande. Indem er das absolute Gewicht eines bestimmten Bodenvolumens durch das specifische dividirte, erhielt er das wahre Volumen der festen Be-

1) Beiträge zur Hygiene. S. 74.

2) R. v. SCHWARZ, Vergleichende Versuche über die physik. Eigenschaften verschied. Bodenarten. Erster Bericht über die Arbeiten der k. k. landwirthsch.-chem. Versuchsstation in Wien. 1870/71.

standtheile. Die Differenz zwischen diesem und dem ursprünglich gefundenen, gesammten Bodenvolumen ergab das Porenvolumen.

Bodenart	Porenvolumen in Volumprocent
1. Unterboden aus einem sog. Uebergangsmoor mit 82,26% organ. Substanz	84,0
2. Sand. Alluvialsand von schneeweisser Farbe, fast ausschliesslich Quarzsand, das Korn nicht über 2 Mm. Durchmesser. (Hier kam die Methode des Einschüttelns in ein cubicirtes Gefäss zur Anwendung)	39,4
3. Lehm. Lösslehm aus dem Wiener Walde, von hellbrauner Farbe, enthält weder Steinchen, noch organ. Reste . .	45,1
4. Thon. Diluvial, hellgrau, aus dem Wiener Wald. Organ. Reste; Steinchen und gröberer Sand fehlen ihm gänzlich	52,7.

Hier finden sich schon bedeutendere Unterschiede, die ihre Begründung wohl in dem oben angedeuteten Verhalten der Bodenconstituenten haben mögen, nach welchem die einzelnen Bodenfragmente selbst wieder porös sind. Es gilt dies wohl schon für den Thon-, ganz besonders aber für den Moorboden.

Man bedient sich schliesslich zur Beurtheilung der Porosität eines derartigen aus verschiedenartigen, besonders verschieden grossen Gesteinspartikeln zusammengesetzten Bodens der mechanischen Bodenanalyse. Diese hat die Aufgabe, durch Sieben und durch Schlämmen die einzelnen Bodenpartikel nach ihrer Grösse und zum Theil nach ihrer mineralogischen Beschaffenheit von einander zu sondern. Man erhält auf diese Weise eine genaue Kenntniss der relativen Menge der einzelnen Bestandtheile. Knop[1]), dem die Landwirthschaft die wesentlichsten Anregungen zur mechanischen Bodenanalyse verdankt, trennt die Bestandtheile der Ackererde in Feinerde und Skelett. Zu ersterer rechnet er jene Stoffe, die sich mittels Wassers durch ein Sieb feinster Sorte (0,3 Mm. Durchmesser) hindurch auswaschen lassen. Zum Skelett zählt er: Grobkies (das Korn von der Grösse einer Erbse und darüber), Mittelkies (Grösse des Coriandersamens), Feinkies (Grösse des Rübsamens).

Die genaueren Bestimmungen dieser Grössen des sog. Knop'schen Siebsatzes, die von A. Mayer[2]) vorgenommen wurden, ergaben für die Weite der Sieblöcher folgende Zahlen:

Sieb Nr. II	. .	4,2 Mm.
„ „ III	. .	2,7 „
„ „ IV	. .	0,9 „
„ „ V	. .	0,3 „

1) W. Knop, Der Kreislauf des Stoffes. Leipzig 1868. S. 473.

2) A. Mayer, Fühling's landw. Zeitung. 1875. S. 16.

Die entsprechenden Bodenarten sind nach Volumen und Benennung folgende:

Mittelkies	2,7—4,2	Mm.	Durchmesser
Feinkies	0,9—2,7	„	„
Streusand	0,3—0,9	„	„
Feinerde . . .	staubfein—0,3	„	„

Wenn man nach erfolgter Trennung der Gesteinspartikel feststellt, wie sich die einzelnen Korngrössen der Menge nach procentualisch zu einander verhalten, so erhält man bereits ein annäherndes Bild des möglichen Porenvolumens. Je mehr sich z. B. das Gesammtvolumen der nächst kleineren, also z. B. zweiten Korngrösse, derjenigen Zahl nähert, die als Porenvolumen der grösseren Kornsorte berechnet oder gefunden ist, desto grösser wird die Beeinträchtigung sein, die das Porenvolumen durch Zwischenlagerung dieser kleineren Sorte erleiden kann bis zu jener Grenze, bei welcher sämmtliche Poren der grösseren Kornsorte von der kleineren Kornsorte ausgefüllt sind. Ist dieses Verhältniss erreicht, so ist auch die Beeinträchtigung am grössten, ein Ueberschreiten derselben kann keine weitere Herabminderung herbeiführen, da eine Zwischenlagerung nicht mehr möglich ist. Aehnlich ist dann die dritte Kornsorte im Verhältniss zur zweiten zu betrachten u. s. f. (vgl. S. 30).

Selbstverständlich kann jedoch das Resultat derartiger Berechnungen mit dem directer Untersuchungen kaum jemals genau übereinstimmen, aus Gründen, die bereits oben dargelegt wurden.

Die Feinerde, die Summe jener Bodenkörner, deren Durchmesser unter 0,3 Mm. sinkt, enthält, ähnlich wie eine natürliche Feinerde, sehr verschiedenartige Fragmente; neben gröberen Körnern von nahezu 0,3 Mm. Durchmesser mannigfach kleinere Körnchen bis zum feinsten Staub herab. Und zwar ist das relative Verhältniss der einzelnen gröberen und feineren Sorten, sowie die Form derselben (ob rund, eckig, zugespitzt u. s. w.) bei verschiedenen Gesteinsarten eine verschiedene, je nach der physikalischen Constitution, der Härte, Spaltbarkeit u. s. w. Deshalb werden diese Massen, besonders von agriculturphysikalischer Seite, bezüglich ihrer Grösse noch einer weiteren physikalischen Analyse unterworfen, indem die Schlämmanalyse[1]) auf dieselbe angewendet wird. Es wird hierbei nach zweierlei

---

1) Literatur der Schlämmanalyse und der ihr dienenden Apparate: Journal f. prakt. Chemie 1849. S. 254. (Schultze). — Chemischer Ackersmann 1857. 141. (Bennigsen-Foerder). — Zeitschrift f. analyt. Chemie. III. 85. (E. Wolff. Nöbel'scher Apparat). — Schöne: Ueber Schlämmanalyse und einen neuen Schlämmapparat. 1867. — Zeitschrift für analyt. Chemie XV. (Deetz.) — Journal für Land-

Princip verfahren. Man sucht entweder die Körner durch den Fall in einer Wassersäule zu trennen, durch sog. Sedimentirapparate, indem man von der Thatsache ausgeht, dass in einer Flüssigkeit feste Körper um so langsamer niedersinken, je grösser bei gleichem specifischen Gewichte das Verhältniss der Oberfläche zur körperlichen Masse derselben, d. h. zu ihrem absoluten Gewichte ist; oder man benutzt den continuirlichen Stoss eines senkrecht von unten her wirkenden Wasserstromes im sog. Stoss- oder Spülapparate, wo die Grösse der abgeschlämmten Theile in einem gewissen Verhältniss zur Wassergeschwindigkeit, der Stärke des Stosses steht. Letztere Methode gibt die genaueren Resultate an und findet immer allgemeinere Anwendung. Es kann auf diese Weise die Feinerde noch differencirt werden in Körner von 0,25, 0,1, 0,05 und 0,01 Mm. Durchmesser.

Feinste Theile	Korngrösse	Entsprechende Stromgeschwindigkeit
Thon und Mineralstaub	bis zu 0,01 Mm.	per Sec. 0,2 Mm.
Mineralstaub	0,05—0,01 Mm.	„ „ 2,0 „
Feiner Sand	0,1—0,05 „	„ „ 7,0 „

Es haben diese abschlämmbaren Partikel deshalb auch hygienisch eine besondere Bedeutung, als sich in denselben meist die thonigen Bestandtheile vorfinden, also jene Bodenconstituenten, die, wie wir später sehen werden, die Permeabilität des Bodens für Luft und Wasser so wesentlich beeinflussen. Ausser dem Thon werden im Thon- und Lössboden nach Fesca auch noch das Eisenoxyd und die leicht löslichen Silikate mit den feinsten Theilen abgeschieden.

II. Permeabilität des Bodens für Luft.

A. Permeabilität des trockenen Bodens.

Von den einfachsten Verhältnissen ausgehend, dass die im Boden befindlichen Poren mit Luft gefüllt sind, haben wir ein besonderes Augenmerk jenen Bedingungen zuzuwenden, die ein Aufsteigen der Luft aus dem Boden, oder ein Eindringen, kurz ein Hindurchtreten durch denselben ermöglichen. Haben wir erst diesen allgemeinen Fall festgestellt, so wird es uns leicht, die Anwendung auf besondere Gasarten zu treffen, sowie auf etwaige, der Luft beigemengte, in derselben suspendirte körperliche Bestandtheile.

---

wirthschaft XXVII. Supplement. Fesca: Die agronomische Bodenuntersuchung. — Endler: Die capillare Leitung des Wassers etc. Inaug.-Dissert. Göttingen 1882. — Forschungen auf d. Gebiete der Agriculturphysik. II. 57 u. 441. (Hilgard.)

Wir bezeichnen die Fähigkeit eines Bodens, einer durch irgend welche Kräfte aus dem Gleichgewicht gebrachten Luft den Durchtritt zu gestatten mit dem Ausdruck „Permeabilität“. Da nun diese Permeabilität die Porosität des Bodens als Postulat voraussetzt, so liesse sich denken, dass sie in einer directen Beziehung zu derselben und zwar zum Porenvolumen stehe, insofern, als derjenigen Bodenart, die ein grösseres Porenvolumen besitzt, auch eine grössere Permeabilität zukommt. Dies ist jedoch nur in gewissen Fällen richtig, wenn z. B. in einer und derselben Bodenart durch Lockerung das Porenvolumen vermehrt wird.

Handelt es sich jedoch darum, verschiedene Bodenarten nach ihrer Permeabilität mit einander zu vergleichen, dann ist, abgesehen von dem später zu berücksichtigenden Einflusse des mineralogischen (petrographischen) Charakters des Bodens, die Permeabilität wesentlich bedingt von der Beschaffenheit, der Grösse, Form und wechselseitigen Lagerung der einzelnen Poren, weniger von der Gesammtsumme derselben (dem Porenvolumen). Diese Eigenschaften der Poren sind aber wieder bedingt durch die Grösse, Form und Anlagerung der Bodenfragmente, der den Boden zusammensetzenden Körner. Grosse, grobe Körner geben — bei eventuell gleichbleibendem Porenvolumen — Anlass zur Bildung einer geringeren Anzahl grosser Hohlräume, während bei kleinem Korn die Anzahl der Hohlräume zwar grösser wird, die einzelnen Poren dagegen um so kleiner ausfallen. Dies geht schon daraus hervor, dass, wie wir gesehen haben, das Gesammtvolumen der Poren auch bei verschiedener Korngrösse keine grosse Verschiedenheit zeigt, während die Zahl der Poren bei gleichem Bodenvolumen mit der Menge der Partikel also mit deren Kleinheit bedeutend zunimmt. Wir gewinnen eine Vorstellung über die Bedeutung dieses Factors, wenn wir uns vor Augen führen, dass die Permabilität, die gleiche luftbewegende Kraft vorausgesetzt, hauptsächlich beeinflusst wird durch den Widerstand, den die Luftbewegung im Boden vorfindet. Dieser Widerstand macht sich schon bei der nothwendiger Weise wiederholt eintretenden Ablenkung des Luftstromes beim Uebergang aus einem Querschnitt in den andern geltend. Je grösser die Anzahl der Poren (bei gleich bleibendem Porenvolumen), desto öfter muss die Luft von ihrem directen Wege abgelenkt werden, indem die zwischengelagerten Gesteinskörner einzelne Hohlräume, zum Theil wenigstens, abschliessen; desto öfter wird dann auch der Fall eintreten, dass die Luft aus der relativ weiteren Pore durch einen feinen Verbindungsgang in die nächste Pore gelangt, dass sie also Querschnittsverengerungen auf ihrem Wege vor-

findet. Beide diese Vorgänge sind jedoch mit Verlust lebendiger Kraft verbunden. Der Reibungswiderstand ferner, den die mit einer gewissen Geschwindigkeit (C) in den Boden eintretende Luft in demselben erfährt, ist abhängig von dem Reibungscoëfficienten (K), sodann von der Gesammtlänge (L) der Poren, des Porencanals, und von dem Umfange (U) und der Fläche (F) seines lichten Querschnitts; und zwar ist er der Länge und dem Umfange direct, der Fläche des lichten Querschnitts umgekehrt proportional, und die um diesen Widerstand geminderte Luftgeschwindigkeit (V) wird durch folgende Formel repräsentirt: $V = \frac{C}{\sqrt{1 + \frac{K.L.U}{F}}}$.

RENK fand in seinen Versuchen, bei denen er die Permeabilität gleich hoher Säulen aus Kies von verschiedener Korngrösse bestimmte, indem er Luft unter bestimmtem Drucke durchleitete, folgende Differenzen in der Permeabilität:

Material	Korngrösse Durchmesser Mm.	Porenvolumen %	Druck in Mm. Wasser	Geförderte Luftmenge. Liter in der Minute absolut	relativ
1. Feinsand	unter 0,3	55,5	20	0,00233	1
2. Mittelsand	1 – 0,3	55,5	20	0,112	84
3. Grobsand	2—1	37,9	20	1,28	961
4. Feinkies	4—2	37,9	20	6,91	5195
5. Mittelkies	7—4	37,9	20	15,54	11684

Die analogen Resultate der Versuche WELITSCHKOWSKY's seien in folgender Tabelle zusammengestellt:

Material	Korngrösse	Porenvolumen	Geförderte Luftmenge, Liter in der Minute bei 50 Mm.	10 Mm.	5 Mm.
			Wasserdruck		
Feinsand . . .	unter 0,3	41,87	0,0058 (1)		
Mittelsand . . .	1—0,3	40,64	0,8990 (155)	0,187 (1)	
Grobsand . . .	2—1	37,38	7,399 (1276)	1,628 (8,7)	
Feinkies	4—2	35,47		12,518 (67)	7,182 (1)
Mittelkies . . .	7—4	35,93		28,493 (152)	17,470 (2,4)
Grobkies . . .	20—7	35,24			37,880 (5,2)

1) Die Permeabilität eines und desselben Bodens resp. der Menge Luft, die durch denselben in einer bestimmten Zeiteinheit gefördert wird, gestaltet sich verschieden, je nach dem Druck, unter dem dies erfolgt; hier soll jedoch von der Erörterung dieses Factors, als eines nicht direct den Bodenbestandtheilen zukommenden, abgesehen werden; er findet seine Behandlung im dritten Abschnitt dieses Capitels: Luftbewegung im Boden.

Wir werden in diesen Zahlen keine mathematisch genaue Reihe erhalten. Sind ja doch die einzelnen Kieskörner viel zu unregelmässig und in ihrer Grösse zu schwankend. Doch wird hieraus schon ersichtlich, dass mit der Abnahme der Korngrösse die Permeabilität in ganz ausserordentlicher Weise abnimmt. Auch geht aus diesen Versuchen hervor, dass das Porenvolumen an und für sich für den Grad der Permeabilität von sehr geringem Belange ist. In Nr. 1 und 2 der Tabelle von Renk ist das Porenvolumen nur um 50 % grösser, als in 3—5 und doch ist die Permeabilität in 1 über 11,000 mal so gross als in 5.

Es lässt sich dies auch sehr einfach auf optischem Wege demonstriren, indem man durch Bodensäulen von gleichem Querschnitt und gleicher Höhe aber verschiedenem Korn Gas durchleitet und dasselbe beim Austritt entzündet. Die Grösse resp. Helligkeit der Flamme, also die Menge des in gleicher Zeit hindurch getretenen Gases nimmt mit der Grösse des Korns caeteris paribus ab [1]).

Wir gewinnen einen gewissen Ueberblick über die Art und Weise, wie sich diese Verhältnisse des vermehrten Widerstandes bei verschiedenen Korngrössen gestalten, wenn wir die Maasse für die einzelnen Körner und die damit in Zusammenhang stehenden Grössen berechnen. Wir wollen hierbei von den möglichst einfachen Verhältnissen ausgehen und uns wieder die Bodenconstituenten als regelmässige bei jedem Versuche untereinander gleich grosse Kugeln vorstellen [2]).

Wir werden beide Extreme der Lagerungsverhältnisse, der dichtesten und lockersten, auseinander halten müssen. In dem einen Falle werden wir dann mit einem Porenvolumen von 26 %, in dem andern von 47 % zu rechnen haben.

Denken wir uns, das Material, aus welchem der Boden zusammengesetzt ist, variire von einem Durchmesser von 0,005 Mm. bis zu 10 Mm. und stellen wir zuvörderst die Zahl der Körner fest, da von dieser die Zahl der Poren und damit auch die Häufigkeit der Wegablenkung abhängt. Je kleiner die einzelnen Bodenpartikel, desto grösser ist die Anzahl derselben in einem und demselben Bodenvolumen, und desto grösser wird auch die Zahl der Poren, die von diesen Körnern umschlossen werden.

Das Verhältniss nun, in welchem die Zahl der Bodenkörner, also auch der Poren, mit der Abnahme des Körnerhalbmessers zunimmt, lässt sich leicht berechnen:

Nehmen wir zwei Radien, r und r_1, so ist das Volumen dieser beiden Körner $\frac{4}{3}\pi r^3$ und $\frac{4}{3}\pi r_1{}^3$; bei einem und demselben Volumen V des Bodens, wobei V das wahre Bodenvolumen nach Abzug der Poren re-

1) Soyka, Ueber eine Methode, die Permeabilität des Bodens für Luft optisch zu demonstriren. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. IV.

2) Soyka, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII.

präsentirt, haben wir in dem einen Falle, die Anzahl der Körner gleich N gesetzt:

$$N = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r^3}.$$

In dem anderen Falle:

$$N_1 = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r_1{}^3}.$$

Es verhalten sich also die Summen der Körner

$$N : N_1 = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r^3} : \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r_1{}^3},\ \text{und abgekürzt}$$

$$N : N_1 = \frac{1}{r^3} : \frac{1}{r_1{}^3}\ \text{oder}\ N : N_1 = r_1{}^3 : r^3.$$

Die Zahl der Poren steht also im umgekehrten Verhältniss zu den dritten Potenzen der Halbmesser, und wächst mit abnehmender Korngrösse äusserst schnell, wie diese Tabelle demonstrirt:

Halbmesser des Korns in Mm.	Kornvolumen $\frac{4}{3}\pi r^3$ in Cmm	Kornzahl in einem Liter		
		bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung	relative Zahl
0,005	0,00000052	1413295,000000	1000766,000000	$8000000,000 = \frac{1}{(0,005)^3}$
0,010	0,00000419	176661,900000	125097,000000	$1000000,000 = \frac{1}{(0,01)^3}$
0,050	0,00052360	1413,295000	1000,766000	$8000,000 = \frac{1}{(0,05)^3}$
0,100	0,00418879	176,661900	125,097000	$1000,000 = \frac{1}{(0,1)^3}$
0,500	0,52359890	1,413295	1,000766	$8,000 = \frac{1}{(0,5)^3}$
1,000	4,18879200	176662	125097	$1,000 = \frac{1}{(1)^3}$
5,000	523,59890000	1413	1001	$0,008 = \frac{1}{(5)^3}$
10,000	4188,79200000	177	125	$0,001 = \frac{1}{(10)^3}$

Mit Rücksicht auf die Permeabilitätsverhältnisse haben wir in diesen Zahlen einen Ausdruck dafür, wie mit der Verkleinerung des Korns die Porenzahl (bei gleichbleibendem Gesammtvolumen) wächst. Die Folge davon ist, dass die Luft, die durch einen Boden von feinerem Korn hindurchtreten soll, einen viel längeren Weg zurückzulegen hat, die Poren sind viel enger und stellen, aneinander gereiht, einen viel längeren Canal dar.

Es wird allerdings bei diesem Verhalten eine kleine Compensation eintreten, der Widerstand wächst wohl mit der Länge und mit der Verengerung des Querschnitts, aber er nimmt dafür ab mit der Verringerung

des Umfangs; da aber das Wachsen des Widerstandes, das durch die Verengerung des Querschnitts herbeigeführt wird, im Verhältniss der zweiten Potenz des Radius erfolgt, entsprechend den Querschnittsformeln $\frac{1}{2} r^2 (2\sqrt{3} - \pi)$. dichte Lagerung, und $r^2 (4 - \pi)$, lockere Lagerung (S. 28 u. 29), die Abnahme des Widerstandes durch die Abnahme des Umfanges dagegen nur im Verhältniss der ersten Potenz des Radius (entsprechend der Formel für den Umfang: πr, dichte Lagerung und $2 \pi r$, lockere Lagerung, so ist es klar, dass die Widerstandszunahme weit überwiegt. Hierbei ist ja auch noch zu berücksichtigen, dass auch in Folge der durch die Vergrösserung der Porenzahl herbeigeführten Verlängerung des Weges der Widerstand zunimmt.

Diese Erwägungen, sowie die erwähnten Versuche geben uns einen Maassstab dafür, welchen Einfluss eine Lockerung des Bodens, also eine Vergrösserung der einzelnen Poren, auf diese Verhältnisse ausüben muss. Die Lockerung verändert nicht blos das Gesammtvolumen der Poren, sondern auch die Weite derselben und es erfolgt eine Erhöhung der Permeabilität, welche bei gleicher Vergrösserung des Porenvolumens bei engmaschigem Boden eine relativ viel bedeutendere ist, als bei weitmaschigem.

Wir werden uns diese Thatsachen gegenwärtig halten müssen bei der Erklärung des epidemischen Ausbruches mancher mit dem Boden in Zusammenhang stehenden Krankheiten. Besonders vom Wechselfieber wird angeführt, dass die Lockerung, das Aufwühlen des Bodens, wie sie bei Feld- und Erdarbeiten vorgenommen werden, zur Ausbreitung der Krankheit führen. Die Hafenbauten im Jadegebiete[1]), die Kanalarbeiten in Walcheren[2]), die Urbarmachung des bisher brach gelegenen Bodens in Pennsylvanien[3]) haben derartige Beispiele geliefert. Wenn durch diese Arbeiten der Krankheitskeim vielleicht vielfach direct an die Oberfläche gebracht wird, oder der Zutritt der Luft zu gewissen Bodenschichten die Vegetationsverhältnisse der niedrigen Organismen beeinflusst, so verdient immerhin diese gesteigerte Permeabilität des Bodens Beachtung, die einen leichteren Austausch zwischen Boden und Oberfläche ermöglicht. In Italien bleibt der alte, durch natürliche oder künstliche Aufschüttungen zugedeckte Sumpfboden (cuora palustre) unschädlich, so lange die ihn überdeckenden Auflagerungen eine hinreichend dicke und compacte Schichte bilden; er erzeugt dagegen Malaria, wenn nur eine dünne Schichte lockeren Erdreichs die Abschliessung bewirken soll oder wenn die Luft in Folge von Ausgrabungen oder durch Spalten zu demselben eindringen kann.[4])

---

1) Wenzel, Die Marschfieber im Jadegebiete. Prager Vierteljahrsschr. 1870.

2) A. A. Fokker, De Kanalgravers in Walcheren en de malaria. Wiekblad van het Nederl. tydschr. voor geneesk. 1877.

3) A. Hirsch, Handbuch der historisch-geographischen Pathologie. 1. Auflage. 1852.

4) Klebs u. Tomasi-Crudeli, Studien über die Ursache des Wechselfiebers. Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol. XI.

Wir haben bisher nur die Verschiedenheit in der Permeabilität einer und derselben Bodenart (im mineralogischen Sinne genommen) betrachtet; die Differenzen zeigen sich auch bei differenten Bodenarten, wenn auch im Allgemeinen nicht in so hohem Grade.

Fleck[1]) untersuchte 11 Bodenproben von Kirchhöfen auf ihre Durchlässigkeit für Luft, indem er unter gewissen Cautelen am Manometer den Widerstand bestimmte, welcher der Luftbewegung durch eine Bodensäule von bestimmter Höhe entgegengesetzt wird, ausgehend von der von ihm durch Experimente gestützten, nun aber wieder durch die Versuche Welitschkowsky's (vgl. Luftbewegung im Boden) widerlegten Annahme, dass die Durchlässigkeiten umgekehrt proportional sind den bei gleich hohen Schichten verschiedener Bodenarten auf diese Weise beobachteten Manometerständen.

Für die durchlässigste Bodenprobe den Werth 100 setzend, fand er:

	Material	Porenvolumen	Durchlässigkeitsprocent
I.	Geröllkies (in 15,5 Cbcm. = 20 Grm. 5 Cbcm. grober, steiniger Kies, 10 Cbcm. Sand, 0,5 Cbcm. Lehm)	49,7%	100.
II.	Kies und Sand (in 11,2 Cbcm. 10 Cbcm. Kies von 3—5 Mm. Durchmesser, 0,8 Cbcm. Sand, 0,4 Cbcm. Sand (feinkörnig) 0,4 Cbcm. Lehm)	32,9%	62,33.
III.	Sand (in 12,2 Cbcm. 11,5 Cbcm. reiner Sand, (Quarzsteine mit abgestumpften Ecken von 0,5—2 Mm. Durchm.), 0,7 Cbcm. Lehm)	34,5	61,60.
IV.	Sand, feinkörniger als III, nur Spuren von Lehm	43,2	45,86.
V.	Sand, feinkörniger als IV, Korngrösse 1 Mm. nicht überschreitend	44,2	38,34.
VI.	Sand, feinkörniger als V, fast lehmfrei	41,3	36,88.
VII.	Rothliegendes (in 19,5 Cbcm. 15 Cbcm. Sand, 4,5 Cbcm. Lehm) . . .	56,4	1,46.
VIII.	Lehmhaltiger Sand, ein sehr feines Pulver, bestehend aus Lehm und einem höchst feinkörnigen Quarzsand (0,25 Mm.)	52,1	1,09.
IX.	Lehm- und mergelreicher Sand, feinkörnig (in 16,5 Cbcm. 7 Cbcm. Sand mit Kies, 3 Cbcm. feinkörniger Mergel, 6,5 Cbcm. Lehm)	51,8	0,61.
X.	Lehmboden (in 18,1 Cbcm. 9 Cbcm. Sand, 9,1 Cbcm. Lehm)	55,8	0,59.
XI.	Lehmboden, enthält nur Spuren von Sand	54,8	0,52.

---

1) H. Fleck, Ueber die Durchlässigkeit von Kirchhofbodenproben. VIII u. IX. Jahresbericht der chem. Centralstelle f. öffentl. Gesundheitspflege in Dresden.

Alle diese Bodenarten wurden in trockenem, pulverigem Zustande untersucht.

Es kann auch diesen Untersuchungen keine allgemeine Gültigkeit zugesprochen werden, auch schon aus dem Grunde, weil keineswegs überall ein in physikalischer Beziehung gleichwerthiges Material vorlag; die Korngrössen schwanken bis zu Differenzen von 4,75 Mm. Einige Schlüsse lassen sich jedoch, da bei den grossen Differenzen in den Resultaten die hervorgehobenen Fehlerquellen zurücktreten, mit ziemlicher Sicherheit ziehen.

Vor Allem sehen wir wieder, welch geringen Einfluss das Porenvolumen an sich auf die Permeabilität besitzt. Gerade die Bodenarten mit dem grössten Porenvolumen VII—XI zeigen die geringste Durchlässigkeit. Sodann sehen wir in den Bodenarten III, IV, V eine weitere Bestätigung der Thatsache, dass mit der zunehmenden Feinheit des Materials das Porenvolumen wohl ebenfalls zu-, die Durchlässigkeit jedoch abnimmt.

Sehr schlagend tritt jedoch der die Durchlässigkeit beeinträchtigende Einfluss des Lehms hervor. Alle Bodenarten, in denen die Lehmmenge eine erhebliche Grösse erreicht, sind bedeutend impermeabler für Luft (VII, VIII, IX). Es tritt dies auch in den Versuchen, wo mit reinem, unvermischtem Material gearbeitet wird, deutlich hervor. Ammon [1]) hat gleich Renk die Permeabilität verschiedener Bodenarten aus der Menge Luft, die in einer bestimmten Zeiteinheit (1 Stunde) bei constantem Druck durch eine Bodensäule von bestimmter Höhe (50 Ctm.) hindurchging, bestimmt.

Die Resultate seiner Versuche sind:

Material	Beschaffenheit desselben	Durchgegangene Luft in Litern absolut	relativ
1. Lehm	Pulver	1,62	100
2. Kaolin	Pulver	2,84	175
3. Humoser Kalksand	Pulver	3,32	204
4. Kreide	Pulver	3,78	203
5. Reiner Kalksand	Korngrösse 0,00—0,25 Mm.	4,24	261
6. Torf	Korngrösse 0,00—0,25 Mm.	5,04	311
7. Quarzsand	Korngrösse 0,00—0,25 Mm.	16,80	1037.

Thon und ähnlich beschaffene Böden (Kreide z. B.) besitzen also die geringste Permeabilität. Sie müssen, wenn sie dem höchst permeablen, sandigen Boden beigemischt sind, die Permeabilität des letzteren herabsetzen. Es geschieht dies in unverhältnissmässig

1) G. Ammon, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III. 209.

hoher Weise. Die Verminderung der Permeabilität von Quarzsand erfolgte in folgender Weise:

	Quarzsand	3/4 vol. Quarzsand + 1/4 vol. Lehmpulver	1/2 vol. Quarzsand + 1/2 vol Lehmpulver	1/4 vol Quarzsand + 3/4 vol. Lehmpulver	Lehmpulver
Durchgegangene Luft (Liter per Stunde)	82,57 (100)	3,11 (3,76)	2,80 (3,39)	1,70 (2,05)	1,44 (1,74)

Diese Eigenthümlichkeit des Thons und Lehms, die Permeabilität herabzusetzen, beruht auf dem Umstande, dass aus demselben sich gerade die feinsten, abschlämmbaren Theile constituiren, also jene Körper, die vermöge ihrer Kleinheit die kleinsten Poren und damit den grössten Widerstand repräsentiren und die selbst alle etwaigen grösseren Hohlräume auszufüllen und zu verlegen vermögen (S. 36). Es gilt dies besonders für die hier angeführten Versuche, bei denen die Materialien in pulverförmigem Zustande angewendet würden.

Allein der Lehm kommt in der Natur auch in einer andern Modification vor, im krümligen Zustande, d. h. in Form von Bröckchen unregelmässiger Gestalt, wie sie durch die der Befeuchtung nachfolgende Austrocknung gebildet werden. Eine solche Structur muss natürlich das Permeabilitätsverhältniss wesentlich alteriren, da auf diese Weise eine Bodenart mit unregelmässigen, grossen Zwischenräumen erhalten wird und in der That, die Zunahme der Permeabilität des Lehmbodens für Luft wird in Folge dieser Veränderung eine so bedeutende, dass sie sogar die des Quarzbodens übertreffen kann.

Korngrösse. Durchmesser	Durchgegangene Luft in Litern. Lehmkrümel	Quarzsand
0,25—0,50 Mm.	30,90 (100)	41,04 (132)
0,50—1,00 „	123,75 (400)	92,24 (298)
1,00—2,00 „	420,16 (1359)	287,57 (930)

Die Permeabilität wächst mit der Zunahme der Korngrösse wieder in geometrischem Verhältnisse; die Steigerung ist aber bei den Lehmkrümeln noch bedeutender als beim Quarzsand; während sie bei letzterem im Verhältniss von 100 : 225 : 683 wächst, erfolgt dieses Ansteigen bei den Lehmkrümeln im Verhältniss von 100 : 400 : 1359, sodass sich alsbald das Permeabilitätsverhältniss zu Gunsten des Lehms umkehrt. Es dürfte dieses Verhalten seine Erklärung finden in der unregelmässigen Gestalt, der höckerigen Oberfläche, die die Lehmkrümeln im Gegensatze zu den scharfabgeschnittenen Quarzpartikeln darbieten, wodurch eine Vergrösserung der Hohlräume erzielt wird.

B. Permeabilität des feuchten Bodens.

Den bisherigen Betrachtungen lag die Voraussetzung zu Grunde, dass die im Boden vorhandenen Poren auch wirklich nur mit Luft gefüllt sind, d. h. dass der Boden, um den es sich handelt, vollkommen lufttrocken sei.

Diese Permeabilitätsverhältnisse erleiden jedoch sofort eine ganz wesentliche Aenderung, sowie Wasser mit in die Zusammensetzung des Bodens eintritt, sowie sich in den Poren neben Luft auch Wasser oder ausschliesslich Wasser vorfindet. Von diesem letzteren extremen Falle, in welchem sämmtliche Poren mit Wasser erfüllt sind, und der in jenen, das Grundwasser (II. Theil, Cap. II) führenden Bodenschichten etablirt ist, können wir insofern absehen, als hierdurch die Permeabilität des Bodens für Luft überhaupt aufgehoben wird.

Wir werden uns also nur mit jenen Verhältnissen zu beschäftigen haben, wo neben Wasser auch noch Luft vorhanden ist, wo nicht sämmtliche Poren oder wenigstens nicht der gesammte Rauminhalt der einzelnen Poren mit Wasser erfüllt ist, wo es sich also um Bodenarten handelt, die wir mit dem Namen „feucht“ oder „nass“ bezeichnen.

Am zugänglichsten unserer Betrachtung werden jene Feuchtigkeitszustände sein, welche dadurch entstehen, dass ein Boden, dem eine gewisse Menge Wasser von oben her zugeführt wird, sich seines Ueberschusses entledigt, oder aber, dass in einem Boden von unten her, aus einer vollkommen mit Wasser angefüllten Bodenschicht (aus dem Grundwasser) durch Capillaritätswirkung Wasser aufsteigt. Hierdurch wird naturgemäss das Porenvolumen, welches noch für die Luft verfügbar bleibt, herabgemindert, und zwar in einem Grade, für den wir einen Maassstab in den Verhältnissen der Wassercapacität besitzen (vgl. dieses Capitel, Abschnitt 5). Es wird in beiden Fällen das Wasser in den capillaren Räumen zurückgehalten, und, so weit es die Adhäsion ermöglicht, auch an den Wandungen der grösseren nicht capillaren Hohlräume. Es wird also sowohl die Zahl der mit Luft gefüllten Hohlräume als auch die Grösse der der Luft zur Verfügung gestellten Hohlräume vermindert. Die Zahl derselben erleidet dadurch eine Einbusse, dass die rein capillaren Hohlräume vollkommen mit Wasser gefüllt sind, die Grösse derselben dadurch, dass auch in den grösseren Hohlräumen in Folge der Adhäsion Wasser zurückbleibt, und dass sich in letzteren in den überall vorhandenen Ecken, Winkeln und Spalten auch wieder Capillaritätswirkungen geltend machen. Auf diese Weise muss die Permeabilität des Bo-

dens entsprechend dem geringeren Porenvolumen verringert erscheinen (vgl. S. 37). Ferner wird auch in manchen Schichten, wenigstens zeitweilig, ein vollständiger Verschluss der Poren eintreten, der erst mittelst eines gewissen Druckes überwunden werden kann. Es muss die Wassersäule, die die Capillare verschliesst, von der Luft gehoben, verdrängt, in andere Poren hineingetrieben werden, um schliesslich, wenn dieser Druck zu wirken aufgehört hat, in ihre frühere Lage zurückzukehren. Durch diesen Vorgang, durch diesen Transport des Wassers wird aber lebendige Kraft verbraucht, was sich in Verminderung der Luftbewegung, in der Abnahme der Permeabilität für Luft äussern muss.

Die Abnahme der Permeabilität wird demnach in erster Linie von dem Wassergehalt, der Menge des im Boden vorhandenen Wassers beeinflusst werden. Je mehr Wasser in demselben vorhanden ist, desto grösser ist das der Luftcirculation entzogene Porenvolumen. Einen ziffernmässigen Beleg hierfür liefert uns die Untersuchung von AMMON.[1] Er mischte Quarzsand, dessen Permeabilität er in trockenem Zustande bestimmt hatte, mit verschiedenen Mengen Wassers und bestimmte nach Einfüllung des so befeuchteten Bodens in Röhren neuerdings die Permeabilität unter sonst gleichen Verhältnissen.

1	2	3	4	5	6	7
Korngrösse	Durchmesser des Korns Mm.	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde. 40 Mm. Wasserdruck				
		trockener Boden	Boden befeuchtet mit			
			50 Cbcm.	100 Cbcm.	150 Cbcm.	200 Cbcm.
I	2,00—1,00	277,47 (100)	295,16 (106)	105,64*) (38)	—	—
II	1,00—0,50	96,36 (100)	102,02 (105)	64,82 (67)	31,68**) (32)	—
III	0,50—0,25	44,77 (100)	48,42 (108)	28,80 (64)	3,02***) (6)	—
IV	0,25—0,00	16,76 (100)	20,69 (123)	17,24 (102)	7,04 (42)	1,68*) (10)

*) Es verlor der Boden während des Versuches Wasser: 10 Cbcm. **) 30 Cbcm. ***) 20 Cbcm.

Die in den Klammern beigefügten Zahlen bezeichnen die relative Abnahme gegenüber der im trockenen Boden gefundenen Grösse, diese als 100 gesetzt.

Die Abnahme der Permeabilität, wie sie sich in diesen Versuchen ausspricht, geht in der That parallel mit der aufgenommenen Wassermenge, und nur bei geringem Wassergehalt zeigt sich eine Ausnahme (Col. 4), indem hier bei allen Korngrössen eine Zunahme erfolgt; wie AMMON annimmt, wohl aus dem Grunde, weil unter diesen Bedingungen die Sandkörner Krümel bilden, welche Krümelbildung die Permeabilität erhöht (S. 44).

1) G. AMMON, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

Es könnte aus diesen Versuchen auch bereits ein Schluss gezogen werden auf das Verhalten einer und derselben Bodenart bei verschiedenem mechanischen Gefüge, bei verschiedener Korngrösse. Doch fehlt hierzu die Angabe des Porenvolumens und der Wassercapacität der einzelnen Bodensorten. In jenen Fällen, wo der Wasserzusatz der absoluten Wassercapacität ungefähr entspricht, indem bereits überschüssiges Wasser abfliesst (Col. 5, Col. 6 und Col. 7) ist zu beobachten, dass die Abnahme der Permeabilität parallel geht der Abnahme der Korngrösse, mit Ausnahme von Korn IV.

Die Versuche Renk's[1]) gingen direct von der absoluten Wassercapacität aus, also von jener Wassermenge, die durch Capillarität und Adhäsion zurückgehalten wird. Die im Cylinder eingefüllten Bodenarten wurden entweder von obenher durch künstlichen Regen oder von unten durch Eintauchen in Wasser mit demselben gesättigt.

Material	Korngrösse	Porenvolumen in	Druck in Mm. Wasserhöhe	Geförderte Luftmenge in Litern per Stunde			Zurückgehaltene Wassermenge (absol. Wassercapacität) bei Befeuchtung	
				trocken	befeuchtet von oben	befeuchtet von unten	von oben	von unten
	Mm.	Volum-%					in % des Porenvolum.	
Mittelkies .	< 7	37,9	20	15,54	14,63	13,70	6,6	12,6
Feinkies .	< 4	37,9	40	14,04	13,16	12,55	7,8	16,9
Grobsand .	< 2	37,9	40	2,33	1,91	1,71	23,4	31,2
Mittelsand .	< 1	55,5	150	0,84	0,23	0,00	36,4	46,5
Feinsand .	<1/3—1/4	55,5	150	0,01	0,00	0,00	65,1	77,4

Es sind diese Zahlen nicht sämmtlich miteinander vergleichbar, da der Druck mit dem die Luft durch den Boden getrieben wurde und auch die Lagerung des Bodens in Bezug auf die Dichtigkeit variirte. Im Allgemeinen geht mit der Zunahme der Wassercapacität eine Abnahme der Permeabilität einher; letztere wächst aber bei den feineren Kornsorten schneller als die Zunahme der Wassercapacität und dies ist wohl leicht verständlich. Es handelt sich ja nicht blos darum, dass eine Reihe von Poren der Luftcirculation entzogen wird, sondern auch darum, dass der Weg, den die Luft zu nehmen hat, so und soviele Unterbrechungen durch zwischengelagerte Wasserschichten erleidet, dass eine ganze Reihe von Wassersäulen gehoben werden muss, dass der Weg in viel zahlreicheren Windungen und in noch engeren Kanälen zurückgelegt werden muss, also auch einem

1) F. Renk, Ueber die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschrift für Biologie. XV.

viel grösseren Widerstande begegnet. Deshalb hört auch oft bei einem bestimmten Drucke jede Luftcirculation auf, trotzdem eigentlich noch eine genügende Menge von Hohlräumen vorhanden ist. So in der vorstehenden Tabelle beim Mittelsand zu einer Zeit, wo der Verlust durch Befeuchtung 46,5 %, also noch nicht ganz die Hälfte des Porenvolumens, betrug und noch 29,7% des Bodenvolumens mit Luft gefüllt waren. Ferner beim Feinsand zu einer Zeit, wo erst 65,1 bezw. 77,4%, also nicht ganz 3/4 des Porenvolumens, mit Wasser erfüllt waren und noch 19,4 % bezw. 12,5% des Bodenvolumens an lufthaltigen Poren vorhanden waren.

Je mehr Wasser nun ein Boden in sich zurückhalten kann, je feinporiger er ist, desto grösser ist die Abnahme, die die Permeabilität durch Befeuchtung, z. B. durch Regen oder durch Imbibition von unten her erleidet. Dasselbe Resultat muss aber auch seine Geltung haben, wenn — bei gleichem Korn — in dem Materiale selbst die Bedingung zu grösserer Wasseranhäufung gegeben, wenn die Unterschiede in der wasserfassenden Kraft, in der absoluten Wassercapacität, im mineralogischen Charakter der Bodenart gegeben sind. So wird z. B. im Thon bei Erfüllung der capillaren Räume mit Wasser ein vollständigerer Abschluss gegen den Durchtritt der Luft erfolgen, als beim Sand. Dieser Effect führt nach Renk's Versuchen gerade die Befeuchtung von unten her noch leichter hervor, als von oben. Es ist dies deshalb im Auge zu behalten, weil, wie wir später sehen werden, gewisse Coïncidenzen zwischen dem Auftreten von Krankheiten und der Feuchtigkeit im Boden sich wohl mit den Schwankungen des den Boden von unten her benetzenden Grundwassers parallelisiren lassen, nicht immer aber mit den von oben her in den Boden eindringenden Niederschlägen. Aber auch bei den Niederschlägen ist die luftabschliessende Wirkung zu constatiren und wohl mit epidemiologischen Thatsachen in Einklang zu bringen.

Lewis und Cuningham [1]) zeigen, dass in Calcutta in den Regenmonaten die Poren in den oberen Bodenschichten verstopft werden und dass in Folge dessen die Kohlensäure der tieferen Schichten, die nicht mit der Oberflächenluft in Austausch treten kann, sich dort anhäuft. In diese Zeit fällt nun auch der Abfall der Choleracurve.

Es wird jedoch bei derartigen Fragen immer der specielle Fall zu untersuchen sein. So wie einerseits der Regen verstopfend wirken, die Luftcirculation aus dem Boden hemmen kann, so kann er

---

1) T. R. Lewis and D. D. Cuningham, Cholera in relation to certain physical phaenomena. Calcutta 1878.

wieder die Luft im Boden, sie allmählich verdrängend, gegen den trocken gebliebenen Untergrund der Häuser treiben und sie hier eintreten lassen. Bei der Erklärung der sich scheinbar widersprechenden Beobachtungen, dass Regen bald den Ausbruch einer Epidemie herbeiführe oder wenigstens einleite, bald die ausgebrochene zum Stillstand bringe, werden diese Verhältnisse mit berücksichtigt werden müssen.

C. Permeabilität des gefrorenen Bodens.

Das Wasser ist aber zuweilen nicht blos in tropfbar flüssigem, sondern auch in festem Aggregatzustande im Boden vorhanden und beeinflusst hierdurch abermals in besonderer Weise die Permeabilitätsverhältnisse. Durch das Gefrieren wird das Volumen des Wassers vergrössert um ca. $^1/_{10}$ des ursprünglichen Volumens, es wird also, schon aus diesem Grunde, durch weitere Verkleinerung der Poren und Verminderung des Gesammtvolumens derselben die Permeabilität herabgesetzt. Ausserdem werden jetzt einzelne Hohlräume, die früher mit Wasser, einem leicht beweglichen und also auch durch Luft relativ leicht verdrängbaren Stoffe, erfüllt waren, dadurch, dass sich Eis in denselben abgelagert hat, das sich fest an die Wände anlegt, vollständig undurchgängig; sie werden aus der Luftcirculation förmlich eliminirt, und es werden viele Bodenpartikel durch das Eis derart miteinander verkittet, dass sie nun ein grosses compactes Fragment bilden. Auf diese Weise muss also abermals das Porenvolumen herabgemindert, aber auch der Durchgang der Luft erschwert werden.

Im Grossen und Ganzen behalten für die Abnahme der Permeabilität im gefrorenen Boden (gegenüber der Permeabilität im feuchten aber nicht gefrorenen Zustande) alle jene Erwägungen Geltung, die wir bei der Abnahme der Permeabilität durch Wasseraufnahme angestellt haben. Es wird also zunächst die Menge des im Boden vorhandenen Wassers einen Einfluss ausüben; je grösser dieselbe, desto grösser auch die Volumenzunahme durch das Gefrieren, desto grösser die Abnahme der Porengrösse, des Porenvolumens, desto grösser auch die Zahl der Umwege und der Widerstand, die durch das Gefrieren des Wassers in den Poren veranlasst werden. Alle diese Umstände werden um so schwerer in die Wage fallen, je feiner das Korn, je geringer die Grösse der einzelnen Poren an sich schon ist. v. Ammon (l. c.) fand bei wechselndem Wassergehalte und Kornvolumen für:

Quarzsand		Höhe der Bodenschichte 50 Cm.						
Korngrösse: Durchmesser in Mm.	Wassermenge in Gr.	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde nicht gefroren	gefroren	Verminderung der Permeabilität in %	Wassermenge in Gr.	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde nicht gefroren	gefroren	Verminderung der Permeabilität in %
2—1	54	263,69	259,12	1,7	—	—	—	—
1—0,5	56	100,71	100,01	0,7	120	31,68	20,87	34
0,5—0,25	56	48,75	48,61	0,23	130	3,02	1,36	55
0,25—0,00	56	21,50	20,40	5,1	200	0	0	—

Bei geringem Wassergehalte treten, wie wir sehen, keine grossen Veränderungen ein, besonders bei grobkörnigem resp. grobporigem Boden. Je mehr Wasser jedoch vorhanden ist, desto grösser wird die Verminderung, die bei diesen Versuchen bis zu 55 % sich erhebt, so dass die nach dem Gefrieren hindurchtretende Luftmenge nicht einmal mehr die Hälfte der durch den feuchten, ungefrorenen Boden hindurchtretenden betrug. Noch grösser werden die Unterschiede, wenn die Bodenarten eine ihrer Wassercapacität entsprechende Wassermenge enthalten, wie dies bei den Versuchen Renk's (l. c.) der Fall war.

Material	Korngrösse Mm.	Porenvolumen	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde Befeuchtung von oben feucht	gefroren	Verlust der Permeabilität in %	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde Permeabilität Befeuchtung von unten feucht	gefroren	Verlust der Permeabilität in %
Mittelkies . . .	<7	37,9	14,63	13,57	5,2	13,70	12,20	10,9
Feinkies . . .	<4	37,9	13,16	12,54	5,4	12,55	10,18	19,0
Grobsand . . .	<2	37,9	1,91	1,64	14,1	1,71	1,27	25,7
Mittelsand (locker)	<1	41,5	0,11	0,07	36,4	0,00	0,00	—
Mittelsand (dicht)	<1	55,5	0,23	0,00	100	0,00	0,00	—

Je feiner das Korn und je dichter die Lagerung, welche beide Momente sich in der Wassercapacität aussprechen, desto grösser die durch das Gefrieren des Bodens hervorgerufene Abnahme der Permeabilität, sowohl absolut als auch relativ. Dieselbe gesteigerte Abnahme wird aber auch wieder hervorgerufen, je grösser die Quantität des in Folge der Wassercapacität zurückgehaltenen Wassers ist, wie dies bei der Befeuchtung von unten her der Fall ist.

Diese Abnahme der Permeabilität in gefrorenem Boden kann ihre grosse Bedeutung haben. Es wird durch sie jedenfalls die Circulation zwischen Oberflächenluft und Bodenluft local erschwert oder gehemmt. Die Folge davon ist, dass sie sich an denjenigen Stellen, wo der Boden nicht gefroren ist, in gesteigertem Maasse sich etablirt. Auf diese Weise wird also in der rauhen Jahreszeit gerade in unsern Häusern, unter welchen der Boden nicht gefriert, die Bodenluft

leichter Gelegenheit haben zu circuliren und auszutreten und wird dies um so eher thun, als hier auch noch durch die höhere Temperatur, die in unsern Häusern herrscht, eine Art künstliche Aspiration hervorgerufen wird (vgl. S. 61).

Es kann dieser Umstand in einzelnen Fällen vielleicht auch für das im Winter erfolgende oder sich steigernde Auftreten gewisser zum Boden in ätiologischer Beziehung stehender Infectionskrankheiten eine Erklärung abgeben.

III. Luftbewegung im Boden.

Aus den bisher geschilderten Verhältnissen der Permeabilität geht wohl hervor, dass unter Umständen eine Bewegung der Luft im Boden möglich ist; es bleibt aber zu erörtern, ob und unter welchen Bedingungen eine solche Bewegung wirklich zu Stande kommt und ob sie zur Wahrnehmung gelangen kann.

Die Bedingungen, unter denen eine Luftbewegung im porösen Boden überhaupt eintreten kann, liegen vorerst in etwaigen Druckdifferenzen, die sich zwischen der Bodenluft (der Luft in den Bodenporen) und der Luft oberhalb des Bodens einstellen können. Solche Druckdifferenzen können nun auf verschiedene Weise zu Stande kommen.

1. Wir können in erster Linie an die Luftdruckschwankungen der Atmosphäre denken. Nach Vogt [1]), der zuerst auf diesen Faktor aufmerksam gemacht hat, wird mit dem Sinken des Atmosphärendruckes sich die Luft im Boden im Verhältniss zur Abnahme des Atmosphärendruckes ausdehnen und demgemäss aus dem Boden aufsteigen. Wenn z. B. das Barometer von 720 Mm. auf 710 Mm., um 10 Mm., also $^1/_{72}$ der ursprünglichen Barometerhöhe fällt, so wird auch in der Bodenluft eine Dichtigkeitsverminderung von $^1/_{72}$ der vorhandenen Dichtigkeit eintreten. Es tritt der 72. Theil der im Boden befindlichen Luft, als deren untere Grenze das nächste aporöse Material, meist Wasser, zu denken ist, an die Oberfläche. Es lässt sich vom theoretischen Standpunkte aus diese Erwägung nicht abweisen; die Bodenluft wird, wenn überhaupt eine Communication mit der Oberflächenluft vorhanden ist, sich ausdehnen. Dieser Vorgang wird sich aber nur sehr allmählich vollziehen und zwar auch in jenen Fällen, in welchen die Barometerschwankungen selbst sehr rasch erfolgen. Das ergibt sich aus den bei der Permeabilität geschilderten Verhältnissen, die den grossen Widerstand, den die Luftbewegung

1) A. Vogt, Trinkwasser und Bodengase. Basel 1874.

im Boden findet, darlegten. Wohl als Beweis für die Allmählichkeit, für die grosse Langsamkeit, mit der sich dieser Vorgang vollzieht, kann der Umstand gelten, dass die auf diesen Punkt gerichteten Beobachtungen keine unzweifelhaften Resultate ergeben haben. Es wurde versucht, aus den Schwankungen des Kohlensäuregehaltes einzelner Bodenschichten im Vergleich mit den Schwankungen des Barometerstandes eine Entscheidung der Frage herbeizuführen. Die tieferen Bodenschichten sind kohlensäurereicher als die höheren (vgl. Cap. V). Tritt nun beim Sinken des atmosphärischen Luftdruckes eine Ausdehnung der Bodenluft, ein Aufsteigen derselben ein, so gelangt mit der Luft auch die Kohlensäure in höhere Regionen und es muss der Kohlensäuregehalt hier höher gefunden werden, als dem sonstigen Befunde entsprechen würde. Im andern Falle müsste mit dem Steigen des Barometerstandes ein Zusammendrücken der Bodenluft erfolgen, es wird atmosphärische (kohlensäurearme) Luft in den Boden dringen und der Kohlensäuregehalt der Grundluft wird niedriger gefunden als erwartet werden soll. Die Versuche, die Wolffhügel[1]), von diesem Gesichtspunkte ausgehend, in München anstellte, ergaben jedoch ein negatives Resultat. Insbesondere unmittelbar am Boden, wo die Differenz sich am deutlichsten hätte bemerkbar machen müssen, liess sich keine Coïncidenz auffinden und ebensowenig in der Bodenluft selbst.

Zu ähnlichen Resultaten kam auch Fodor in Budapest.[2]) Seine auf diesen Punkt gerichteten Beobachtungen ergaben zwar als Mittel von 463 Bestimmungen, dass die Kohlensäure mit sinkendem Luftdruck auf drei Stationen gestiegen und nur auf einer Station gesunken war; doch war auch diese bei sinkendem Luftdruck constatirte Zunahme so geringfügig, dass sie nur an den Massenbeobachtungen zu erkennen war, wogegen in den Einzelbeobachtungen der Zusammenhang oft genug zu vermissen war. Es liess sich bei der Zunahme des Luftdrucks eine ausgesprochene Tendenz zur Vermehrung oder zur Abnahme des Kohlensäuregehaltes nicht erkennen. Wenn nun auch aus diesen Beobachtungen hervorgeht, dass den Luftdruckschwankungen auf die Kohlensäure im Boden nur ein untergeordneter Einfluss zukommt, so braucht deshalb der Einfluss auf die Luftbewegung, auf das Emporsteigen der Grundluft nicht vollständig ausgeschlossen zu werden. Wie schon bemerkt, muss sich

1) Wolffhügel, Ueber den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase. Amtl. Bericht der 50. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte. München 1877.

2) Fodor, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881.

die Ausgleichung des Luftdrucks im Boden und in der Atmosphäre nur sehr allmählich vollziehen, schon wegen des grossen Widerstandes im Boden und wegen der geringen motorischen Kraft, und es ist leicht möglich, dass die Diffusion zwischen den kohlensäureärmeren und -reicheren Schichten derart mächtig ist, dass sie die Wirkung des Aufsteigens der Bodenluft theils verdeckt, theils, wenn sie im entgegengesetzten Sinne wirkt, compensirt.

2. Ein anderes ursächliches Moment für die Bewegung der Grundluft liegt in den Temperaturdifferenzen, die zwischen der Bodenluft und der atmosphärischen Luft sich finden. Die Temperatur des Bodens, mit ihr auch die der Bodenluft, verfolgen ihren eigenen Gang (vgl. Cap. IV), der besonders je nach der wechselnden Tiefe keineswegs in Uebereinstimmung sich befindet mit den täglichen oder monatlichen, selbst jährlichen Schwankungen der Atmosphärentemperatur. So hat in einer gewissen Tiefe der Boden im Frühjahr und im Sommer meist eine niedrigere, im Herbst und Winter eine höhere Temperatur, als die atmosphärische Luft. Unter gewöhnlichen Verhältnissen, wenn sich einmal die Spannungen der Luft ausgeglichen haben, braucht dies noch zu keiner Luftbewegung zu führen. Diese Luftbewegung wird erst eintreten, wenn sich durch erneute Abkühlung oder Erwärmung in einer dieser Luftarten die Spannungs- resp. Dichtigkeitsverhältnisse ändern. Dann wird von der einen Luftart soviel in die andere abfliessen, bis die Spannungen beider sich wieder das Gleichgewicht halten. Wird z. B. am Abend, in der Nacht, die atmosphärische Luft kälter und ihre Dichtigkeit grösser, wobei vorausgesetzt werden muss, dass die Höhe der Luftsäule dieselbe bleibt, was durch ein Zuströmen der Luft von anderen wärmeren Stellen her herbeigeführt wird, so wird in Folge der erhöhten Spannung, des erhöhten Luftdrucks, etwas Luft in den Boden eingepresst werden. Der umgekehrte Fall tritt bei Tage ein, bei einer Erhöhung der Lufttemperatur, wenn dieselbe gleichzeitig mit einem Abfluss der erwärmten Luft verbunden ist. Dann kann Luft aus dem Boden in die Atmosphäre gelangen.

Es steht diese Erwägung vielleicht im Widerspruch mit einzelnen epidemiologischen Thatsachen, wenigstens, soweit sie die Malaria betreffen. Bezüglich dieser Krankheit finden sich Angaben, nach welchen die Malaria des Nachts viel intensiver wirke als am Tage, ja, dass in den meisten Malarialändern Nachts die Infection stattzufinden scheine. Die Berichte Lind's [1]) constatiren, dass an der Küste von St. Thomas (Guinea)

---

1) J. Lind, Versuche über die Krankheiten, denen Europäer in heissen Klimaten unterworfen sind. 1773.

nur jene Mannschaft eines dort vor Anker liegenden Kriegsschiffes an Malaria erkrankte resp. starb, welche auch die Nacht am Lande zubrachte, wogegen der ununterbrochene Aufenthalt am Tage keine nachtheiligen Folgen hatte. Dasselbe wird von den Reisenden auf der Landenge von Panama [1]) erzählt. Diejenigen, die auf derselben übernachteten, erkrankten leicht, und die Bahnverwaltung lässt aus diesem Grunde keine Nachtzüge verkehren. In den Marschen [2]) gilt auch hauptsächlich die Nachtluft als das inficirende Moment und in Italien [3]) soll die Infection hauptsächlich in den Morgen- und Abendstunden, namentlich während starken Thaufalles, erfolgen.

Wenn wir nun annehmen, dass die Malaria durch Organismen, die dem Boden entstammen, hervorgebracht wird, so müssten die vom Boden ausgehenden Luftströmungen uns die Keime zuführen und sollte also die Infection und aufsteigende Luftströmung zusammenfallen. Es lassen sich jedoch an diese Thatsachen keine weitergehenden Schlussfolgerungen knüpfen. Abgesehen davon, dass der Zeitpunkt der Infection wohl nicht genau festgestellt werden kann, fehlen ja in diesen Fällen die directen Temperaturbestimmungen und es ist nicht möglich, die Temperatur der Bodenluft und die der atmosphärischen Luft miteinander in Vergleich zu stellen. Es müssen ferner die in der Nacht selbst stattfindenden Temperaturschwankungen der atmosphärischen Luft ins Auge gefasst werden, der Zeitpunkt des Temperaturminimums und des sich hieran anschliessenden Ansteigens der Temperatur. Beachtung verlangt jedenfalls die Angabe, dass bei starkem Thaufall die Infection besonders leicht erfolge.[4]) Ohne auf die Theorie vom Thaufall und auf die Hypothese, dass der Thau zum grossen Theil der aufsteigenden feuchten Bodenluft seinen Ursprung verdanke, einzugehen, sei hier nur der Gesichtspunkt geltend gemacht, dass durch derartige Niederschläge etwaige in der Luft vorhandene Pilze auf die vom Thau benetzten Gegenstände vielleicht in grösserer Menge deponirt werden können.

Für den Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft ist vielleicht noch als einer der maassgebenden Faktoren die Bodenoberfläche selbst zu betrachten. Diese zeigt nämlich in ihren Temperaturverhältnissen ein Verhalten, das sowohl von dem der Luft als auch von dem des darunterliegenden Bodens wesentlich abweicht (Cap. IV). Ausserdem haben die einzelnen Bodenschichten überhaupt je nach ihrer Tiefe verschiedene Temperaturen zu einer und derselben Zeit, so dass hierdurch allein schon zu Luftströmungen Veranlassung gegeben ist. Littrow [5]) beobachtete bei Versuchen,

1) S. Stricker, Vorlesungen über allgemeine u. experimentelle Pathologie. 13.

2) A. P. J. Dose, Zur Kenntniss der Gesundheitsverhältnisse des Marschlandes. 1. Wechselfieber. 1878.

3) E. Klebs u. C. Tommasi-Crudeli, Studien über die Ursachen des Wechselfiebers und der Malaria. Archiv f. exper. Pathologie. XI. 325.

4) Klebs u. C. Tommasi-Crudeli, l. c.

5) A. v. Littrow, Ueber die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener

in welchen er die Wärmeleitung des Bodens in Cylindern studirte, dass sich Luftströmungen geltend machten, je nachdem er den Cylinder horizontal legte, oder aber so aufstellte, dass die Wärmeleitung von unten nach oben geschah. Der Wärmeeffect pflanzte sich in letzterem Fall entschieden stärker, schneller und weiter fort, als bei jenen Versuchen, bei welchen die Wärmeleitung nach abwärts, also unabhängig von allen Luftströmungen geschah; und WILDT [1]) vermuthet, dass gewisse Unregelmässigkeiten in der Fortpflanzung der täglichen Minima nach der Tiefe ihren Grund haben in den Luftströmungen, die in den Poren der obersten Erdschichten vorkommen, indem in den Hohlräumen derselben zur Zeit der Minima die in der Nähe der Oberfläche durch die stärkere Abkühlung schwerer gewordene Luft heruntersinken und wärmerer von unten nachströmender Platz machen wird.

Die bisherigen Erörterungen beschäftigten sich mit dem Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre im Freien und ergaben bezüglich des Einflusses der Temperaturdifferenz keine besonders bestimmten Aufschlüsse. Anders dagegen gestaltet sich die Frage, wenn wir die Luft im Hause der Bodenluft und auch der äussern Luft gegenüberstellen. Hier lassen sich bereits gewisse allgemeine Regeln aufstellen. Wir können die von den Hausmauern eingeschlossene Luft als eine ziemlich homogene Luftsäule betrachten, die je nach ihren verschiedenen Dichtigkeitsverhältnissen verschiedene Luftströmungen veranlassen muss. Dass wir die Luft des Hauses wirklich als ein ziemlich einheitliches Ganze betrachten dürfen, dafür sprechen die Versuche von FORSTER [2]), aus denen hervorgeht, wie rasch sich die Luft irgend eines Raumes innerhalb eines Hauses in alle übrigen vertheilt und mit diesen vermengt. In einem Hause, in welchem bei der Weingährung im Keller eine grosse Menge Kohlensäure entwickelt wurde, so dass der Kohlensäuregehalt der Luft dieses Raumes bis zu 43 Volumen‰ Kohlensäure enthielt, vertheilte sich diese so rasch und so vollständig über alle Räume, dass nach Ablauf von 6 Stunden in einem Parterrezimmer bereits 1,63 ‰, in einem Zimmer des ersten Stockes 1,08 ‰ Kohlensäure vorhanden waren. Aus diesem Kohlensäuregehalt geht hervor, dass im Parterre 4—7%, im ersten Stocke

Bodenarten und den betreffenden Einfluss des Wassers. Sitzungsberichte d. Wiener Academie. LXXI.

1) H. WILDT, Ueber die Bodentemperaturen in St. Petersburg u. Nukus. Repertorium f. Meteorologie. VI.

2) J. FORSTER, Untersuchungen über den Zusammenhang der Luft in Boden und Wohnung. Zeitschrift für Biologie. XI. 392.

2% Kellerluft sich beigemischt hatten. Durch Heizen liess sich dieses Eindringen der Kellerluft noch bedeutend vermehren. Der Gehalt der Parterrezimmerluft an Kellerluft stieg dann gar auf 54%, der der Luft im ersten Stocke auf 38% und zeigte dieselben Schwankungen in quantitativer Beziehung, sowohl nach grösseren Perioden, als auch in der täglichen Intensität, wie sie die Bodenniveauluft darbot, nur zeitweilig etwas verspätet.

Mit Rücksicht auf die Luftströmungen zum und im Hause haben wir das Verhältniss der Luft im Hause sowohl zur Aussenluft als auch zur Bodenluft zu berücksichtigen. Im Allgemeinen wird die Luft im Hause der Bodenluft gegenüber eine höhere Temperatur besitzen, denn der Boden zeigt in einer gewissen Tiefe die mittlere Jahrestemperatur an, die von der Lufttemperatur im Hause meist übertroffen wird. Dadurch wird nun in der schweren Bodenluft die Tendenz vorwalten, gegen die leichtere Hausluft hinzufliessen. Es wird im Allgemeinen ein aufsteigender Luftstrom herrschen. Dieser aufsteigende Luftstrom wird eine Steigerung erfahren, wenn die Temperatur der äusseren Luft eine niedrigere ist, als die des Hauses und wenn die Communication durch den Boden hindurch eine leichtere ist, als durch die Mauern. Wir können dann das Verhältniss so auffassen, als hätten wir zwei miteinander communicirende Luftsäulen, von denen die eine durch die im Hause und in der unmittelbar unter demselben sich befindenden Bodenluft repräsentirt wird, die andere durch die atmosphärische Luft allein. Die Communication selbst erfolgt durch den Boden hindurch, dessen unmittelbar unter dem Hause befindlicher Theil auch wärmer sein wird als der im Freien befindliche*), die äussere Luftsäule, die kälter und in Folge dessen specifisch schwerer ist, drückt nun durch den Boden hindurch auf die specifisch leichtere Luft im Haus und bringt so die Bodenluft zum Aufsteigen. Je grösser die Temperaturdifferenz zwischen Aussenluft und Zimmerluft und je permeabler der Boden (auch im Verhältniss zum Umfassungsmaterial des Hauses), desto leichter und mächtiger wird das Einströmen der Grundluft ins Haus erfolgen. Für den Fall, dass die äussere Luft wärmer ist, als die des Hauses, wird natürlich das

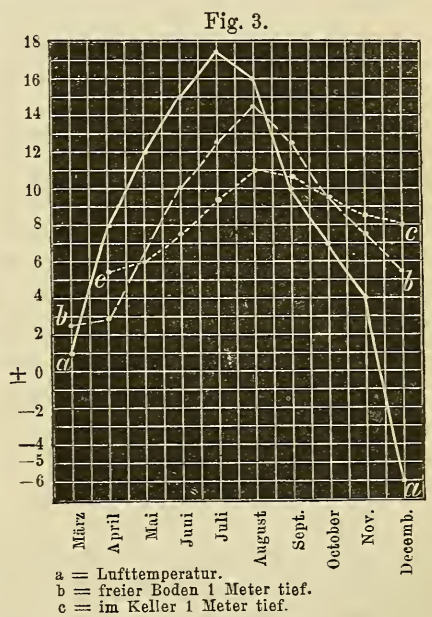
*) Für den hier angenommenen Fall, dass die äussere Luft eine niedrigere Temperatur besitzt als die Luft im Hause, also für die Wintermonate, ist noch zu berücksichtigen, dass auch die unmittelbar unter dem Hause befindliche Bodenluft dazu beitragen wird, den Effect des Einströmens in das Haus zu steigern. Denn dieser Theil der Bodenluft ist durch das darüber aufgebaute Haus vor der stärkeren Temperaturerniedrigung während des Winters geschützt, wird also eine höhere Temperatur bewahren als die Bodenluft im Freien in gleicher

umgekehrte Verhalten eintreten, die Luft wird durch den Boden hindurch nach aussen drücken. Für diese Thatsachen liegt eine Reihe experimenteller Belege und Erfahrungen vor. Auf indirectem Wege durch Kohlensäurebestimmungen hat dies FODOR[1]) nachzuweisen versucht. In einem Zimmer, welches zu $^2/_3$ seiner Höhe in dem Boden vertieft lag, wurde die Kohlensäure durch längere Zeit analysirt. Trotz des ungünstigen Umstandes, dass dieser Raum einen gut gefügten Parquetboden besass, also ein Aufsteigen der Bodenluft erschwert war, führten die Resultate zu der Annahme, dass hier ein Eindringen der Grundluft in das Haus erfolge; die Kohlensäure war

Tiefe. Dem entsprechen auch die vergleichenden Beobachtungen DELBRÜCK's[2]) in Halle über die Temperatur 1' unter der Kellersohle des Strafanstaltslazarethes und im Freien circa 10 Schritt davon in entsprechender Tiefe von 8', die Differenz betrug jedesmal 2,5—3° R., trotzdem das betreffende Lazareth ein verhältnissmässig kleines, ganz freistehendes Haus ist, dessen Corridore etc. nicht geheizt werden.

PFEIFFER[3]) in Weimar hat die Schwankungen der Bodentemperatur durch mehrere Monate verfolgt; die Resultate dieser Beobachtungen sind in nebenstehender Figur graphisch vorgeführt. Leider fehlen die Beobachtungen über zwei der maassgebendsten Monate, Januar und Februar, es ist aber aus dem hier vorliegenden Material ersichtlich, dass der Boden unter dem Hause (im Keller) im Sommer eine tiefere, im Winter eine (bis um $2^1/_2$°) höhere Temperatur erreicht als unter denselben Bedingungen im Freien; die Ursache hierfür liegt vorzüglich in der verminderten Strahlung (vgl. Cap. IV). Endlich deutet auch der grössere Reichthum an Kohlensäure in der Bodenluft unterhalb des Hauses, wie ihn PORT[4]) constatirt hat, auf höhere Temperaturen, doch wirken hierbei noch andere Factoren mit (vgl. Cap. V).

Fig. 3.



a = Lufttemperatur.
b = freier Boden 1 Meter tief.
c = im Keller 1 Meter tief.

1) FODOR, Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. 1881.

2) E. DELBRÜCK, Mittheilungen über die Cholera in Halle. Zeitschrift für Biologie. IV. 240.

3) L. PFEIFFER, Einfluss der Bodenwärme auf die Verbreitung und den Verlauf der Cholera. Zeitschrift für Biologie. VII. 295.

4) PORT, Epidemiologische Beobachtungen in der Garnison Münchens. Archiv für Hygiene. I.

im Zimmer durchschnittlich höher, als in der äusseren Luft, stimmte dagegen mit der am Bodenniveau gefundenen ziemlich überein und zeigte dieselben zeitlichen Schwankungen in quantitativer Beziehung, sowohl nach grösseren Perioden, Jahreszeiten, als auch in der täglichen Intensität, wie sie die Bodenniveauluft darbot, nur zeitweilig etwas verspätet.

Direct wird dieser Beweis des Einströmens von Grundluft in das Haus in Folge von Temperaturdifferenzen durch die Untersuchungen Renk's[1]) geliefert. Von diesem wurde mittelst des Recknagel'schen Differenzialmanometers[2]) der Druck der Bodenluft und der Luft im Keller gemessen, bei welchen Messungen fast während des ganzen Jahres sich ein Ueberdruck der Luft unter dem Pflaster der Kellersohle gegenüber dem Druck der Kellerluft constatiren liess, so dass ein Einströmen der Bodenluft ins Haus erfolgen musste. Im Sommer (bei Windstille) war dieser Ueberdruck von Seite der Bodenluft kaum wahrnehmbar, stets dagegen im Winter, was nach dem oben Gesagten leicht verständlich ist. Es lässt sich diese aspirirende Wirkung der Häuser noch durch künstliche Mittel verstärken. In den Versuchen Renk's bewirkte ein im Boden verlaufender Ventilationskanal, welcher mit dem Schlote der Dampfkesselfeuerung in Verbindung stand, eine eigenthümliche Veränderung in den Druckverhältnissen der Keller- und Bodenluft. Während in den am weitesten von dem Kanale entfernten Stellen die Luft im Boden noch einen Ueberdruck besass gegenüber der Kellerluft, verschwand dieser, je näher man gegen den Kanal kam und endlich stellte sich sogar ein Ueberdruck der Kellerluft gegenüber der Bodenluft heraus, der am grössten war an der Wandung des Kanals. Diese Erscheinung, die sich auf eine Entfernung von 3—10 Meter durch die Wandung des Kanals hindurch bemerkbar machte, kann nur als eine Folge der saugenden Wirkung des Kanals resp. des Schlotes aufgefasst werden, wodurch bis auf eine Entfernung von 5—6 Meter ein Austreten der Bodenluft nicht möglich war, sondern umgekehrt die Luft aus dem Kellerraum in den Boden drang.

Staebe[3]) suchte bereits vor einiger Zeit diese ansaugende Wirkung der Häuser und deren Kamine dazu zu benützen, um unaufhörlich grosse Mengen frischer, reiner Luft in den Boden zu leiten, die verdrängte Bo-

---

1) Renk, Ueber das Eindringen der Bodenluft in die Häuser. Tageblatt der 54. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Salzburg 1881. S. 193.

2) Recknagel, Poggendorf's Annalen 1877. Bd. 2.

3) L. L. Staebe, Bodenventilation als Schutzmittel gegen Cholera u. Typhus. Magdeburg 1873.

denluft aber an einem vom Menschenverkehr entfernt gelegenen Punkte zum Abfluss in die Atmosphäre zu bringen. Es soll der Bewegung der Grundluft auf diese Weise der Weg genau angegeben und das Haus vor dem Eindringen derselben bewahrt werden. Zu diesem Zwecke sollen vorerst unsere Wohnungen gegen freien Eintritt der Bodenluft überhaupt abgeschlossen werden durch eine Art Betonmauerung, mit welcher die gesammte Basis des Hauses wie mit einem schützenden Deckel umgeben wird und welche an den Umfassungsmauern bis hinauf zur Erdoberfläche reichen muss. Sodann sind sämmtliche Keller, soweit sie unter den Wohnhäusern reichen, 12″ hoch auszugraben und sämmtliche in den Kellerwänden liegende Schornsteine des Hauses bis zu dieser Tiefe herabzuführen, gegen den Grund durch dichtes Mauerwerk abzuschliessen und mit jenem 12″ hohen Raume durch eine ebenso hohe seitliche Oeffnung in Communication zu setzen, oder es können die Kamine durch besondere gemauerte Kanäle mit dem Kanal in der Kellersohle verbunden werden. Darnach ist der 12″ hohe Hohlraum zu wölben, mit einer Betonschicht zu belegen und die nunmehr gewölbte Kellersohle zu planiren.

Die Luftströmung wird bei dieser Anordnung folgendermaassen sich gestalten: Ist die Luft im Kamin wärmer, als die äussere Luft, so wird diese einen Ueberdruck ausüben, welcher sich durch den Boden hindurch ausgleicht. Die äussere Luft wird also die Bodenluft in den Kamin hineindrücken und an die Stelle der Bodenluft eintreten. Und da die in den Schornstein eintretende Luft sogleich erwärmt wird, so wird sich eine vollständige Luftcirculation etabliren. Im Sommer dürfte nun der Fall eintreten, dass die Temperatur der äusseren Luft eine höhere ist, als die des Schornsteins, den Küchenschornstein vielleicht ausgenommen; da könnte sich dann die Luftströmung umkehren und die Bodenluft in unmittelbarer Nähe des Hauses, in Höfen u. dgl. an die Oberfläche treten. Um nun auch im Sommer der Bodenluft den Austritt durch den Kamin anzuweisen, schlägt deshalb Staebe die Errichtung eines besonderen Schornsteines mit nicht zu kleinem Querschnitt vor, welcher einen von der Küche aus zu heizenden Feuerherd birgt. Nach den Vorschlägen Staebe's bedürfen

Hohlräume bis zu		300 □Meter	Boden	2	Schornsteine	
⸗	⸗ ⸗	600 ⸗	⸗	3	⸗	
⸗	⸗ ⸗	900 ⸗	⸗	4	⸗	
⸗	⸗ ⸗	1,200 ⸗	⸗	5	⸗	u. s. f.

Dem Schornstein selbst gibt er durchgehends eine lichte Weite von 0,15 Met.

Es ist hier nicht der Ort, diese Vorschläge, die bereits die Hygiene der Wohnung berühren, ausführlich zu discutiren. Vom theoretischen Standpunkte aus kann nach dem früher Ausgeführten die Möglichkeit einer solchen Ableitung der Grundluft nicht bezweifelt werden, vorausgesetzt, dass der Boden die nöthige Permeabilität besitzt und dass die technische Ausführung eine vollkommene ist. An letzterer liegt allerdings sehr viel. Ist z. B. der luftdichte Abschluss der Kellersohle unvollkommen und die Verbindung des Kamins mit dem Hohlraume in der Kellersohle keine dichte, so kann das Gegentheil von dem gewünschten Effecte eintreten. Der Kamin wird die Luft aus dem Keller abführen, in diesem einen negativen Druck erzeugen, wo dann die Bodenluft erst recht in den Keller einströmen wird.

An diese durch Temperaturdifferenzen hervorgerufene Strömungen der Grundluft müssen sich jene Vorkommnisse anschliessen, bei denen Leuchtgas unterirdisch auf weite Strecken sich verbreitet und schliesslich in die Häuser, in bewohnte Räume dringt und dort zu Vergiftungen Veranlassung gibt. Derartige Gasausströmungen, bei denen das Gas gewöhnlich nicht an Ort und Stelle des Röhrenbruchs austritt, sondern grössere Strecken bis zu 30 Meter im Boden zurücklegen musste, ereignen sich, was zuerst von Pettenkofer besonders hervorgehoben wurde, fast ausschliesslich im Winter. Hierbei ist die Wanderung, die das Gas zu unternehmen hat, oft eine recht umständliche. So in dem von Cobelli[1]) beschriebenen Falle, in dem drei Personen einer Gasvergiftung zum Opfer gefallen waren. Die Gasausströmung in den Boden erfolgte am 2. Januar 1875. Das Gas verbreitete sich von der in einer Tiefe von 0,8 Meter gelegenen Austrittstelle in horizontaler Richtung in dem in Folge der früheren Lagerung eines Gasrohres bereits aufgelockerten Boden gegen die Umfassungsmauern des betreffenden Hauses, das selbst keine Gasleitung besass, so einen Weg von 2,67 Meter zurücklegend, schwängerte die ganze Hälfte desselben, welche in Verbindung mit dem von der vergifteten Familie bewohnten Flügel stand und erreichte so diesen Flügel nach Durchlaufung eines 4,77 Meter langen Weges. Hier drang es durch die Ritzen der Mauer, einen Weg von 3 Meter zurücklegend und gelangte endlich in das Zimmer, in dem die Familie schlief, und zugleich in das darunter befindliche Gewölbe. Es hatte also im Ganzen einen Weg von 10,44 Meter Länge zurückgelegt. Während des strengen Winters 1879/80 wurden in Breslau nach dem officiellen Berichte der dortigen Gasanstalt im Verlauf von 6 Wochen (vom 17. December bis 27. Januar) nicht weniger als 10 bewohnte Localitäten constatirt, in welchen solche zu Vergiftungserscheinungen führende Gasausströmungen stattfanden und gerade in den schwersten Fällen war in den betreffenden Häusern eine Gasleitung überhaupt nicht vorhanden; allen aber war gemeinsam, dass das Gas aus gebrochenen Röhren der Strassenleitung stammte, deren Bruchstellen in einzelnen Fällen sich 10—27 Meter in der Luftlinie von den betreffenden Erdgeschoss- und Kellerwohnungen befanden.[2]) In einem Falle, den Hofmann[3]) beschreibt, wurden im Winter 1879

1) R. Cobelli, Vergiftung der Familie Caimi in Roveredo durch Leuchtgas. Zeitschr. f. Biologie. XII. 1.

2) R. Biefel u. Th. Poleck, Ueber Kohlendunst- und Leuchtgasvergiftung. Zeitschr. f. Biol. XVI. 314.

3) Hofmann, Ueber Kohlenoxydvergiftung. Wiener medic. Presse. 1879. 411.

19 Arbeiter vergiftet, die einen Keller als gemeinschaftliche Schlafstelle benutzten und zu dem das Leuchtgas erst nach Durchwanderung einer Strecke von 10,35 Meter gelangen konnte. Auch LAYET[1]) beschreibt ähnliche Fälle.

In den unmittelbar vorhergegangenen Ausführungen über die Luftbewegung aus dem Boden liegen die Ursachen für diese Erscheinungen. Diese horizontale Strömung des Gases wird wohl dadurch bereits unterstützt, dass die oberflächlichsten, im Stadium des Frostes befindlichen Bodenschichten einem Hindurchtreten des Gases nach oben etwas grösseren Widerstand leisten, der aber in den meisten Fällen nicht bis zur Impermeabilität des Bodens führt (vgl. S. 49). Den wesentlichsten Einfluss hat aber nach PETTENKOFER[2]) die aspirirende Wirkung unserer erwärmten Häuser resp. Wohnungen, die wie eine Art Saugpumpe auf den Boden aufgesetzt sind und die Bodenluft und mit ihr das Gas ansaugen. In dem von PETTENKOFER beschriebenen Fall in Augsburg, der sich im December 1859 ereignete und bei dem das Gas 20′ von der Bruchstelle des Rohres entfernt zum Austritt kam und zu Vergiftungserscheinungen führte, war es gerade das erwärmte Zimmer, in dem die Gaseinströmung zu Stande kam. Je mehr in diesem Zimmer geheizt wurde, desto stärker war das Eindringen des Gases. Als dagegen dieses Zimmer verlassen worden war und deshalb ungeheizt blieb, dagegen das benachbarte noch geheizt wurde, hörte die Gasausströmung in dem ersten Zimmer völlig auf, stellte sich dagegen in dem nun erwärmten zweiten Zimmer ein.

Es ist also nur der durch Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen herbeigeführte negative Druck im Innern des Hauses, der dieses Ansaugen des Gases hervorruft und der auch umgekehrt, durch plötzliche Erniedrigung der Aussentemperatur, herbeigeführt werden kann, wie dies im Falle Caimi geschah.

Auf experimentellem Wege erhärtete WELITSCHKOFSKY[3]) diese Annahme. Er leitete Gas in den Boden mittelst schmiedeeiserner Röhren, die bis zu 2 Meter Tiefe in den Boden eingeschlagen waren. Rings um diese Röhren waren in Abständen von je 1 Meter eben

---

1) LAYET, Des accidents causées par la pénétration souterraine du gaz d'éclairage ... Revue d'Hygiène 1880.

2) M. v. PETTENKOFER, Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden. Populäre Vorträge. I. Heft. S. 114.

3) M. v. PETTENKOFER, Ueber Vergiftung mit Leuchtgas. Sitzungsberichte der k. bayer. Akademie der Wissenschaften 1883, und D. WELITCHKOWSKY, Experimentelle Untersuchungen über die Verbreitung des Leuchtgases und des Kohlenoxyds im Boden. Archiv für Hygiene. I.

solche Röhren bis zu gleicher Tiefe eingeschlagen, aus welchen Bodenluft zur Untersuchung entnommen werden konnte. Wurde nun durch die im Mittelpunkte befindliche Röhre Gas eingeleitet, so verbreitete sich dasselbe bei Sommertemperatur ziemlich gleichmässig ringsum, bei Wintertemperatur hingegen (bei einer Temperatur z. B. von 0° im Freien und + 16° C. im Hause) erfolgte die Verbreitung nur in der Richtung zum Hause zu; die stärkste Strömung erfolgte im Winter in der Richtung nach dem in einem Kellerraume liegenden, zu Heizzwecken dienenden Dampfkessel. Luft aus Röhren, welche in entgegengesetzter Richtung eingeschlagen waren, liessen bei dieser Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen meist gar keine oder nur sehr unbedeutende Mengen Leuchtgas nachweisen. Hiermit ist der experimentelle Nachweis für die Aspiration von Leuchtgas und also auch von Bodenluft in Folge von Temperaturdifferenz geliefert und PETTENKOFER knüpft hieran noch die praktische Nutzanwendung in Bezug auf die Verhütung solcher Gasausströmungen bei Rohrbrüchen. Als radicales Mittel muss selbstverständlich die Abhaltung der Leuchtgasströmung nach dem Hause gelten; diese kann aber leicht durch Oeffnung der Kellerfenster oder Fenster im Erdgeschosse der bedrohten Häuser erzielt werden. In diesem Falle wird der negative Druck vom Hause direct ausgeglichen; es dringt die äussere schwerere Atmosphäre nicht mehr durch den Boden hindurch in die Häuser und nimmt das daselbst befindliche Leuchtgas mit, sondern sie strömt direct durch die Fenster ein und verdünnt auch noch das unvermeidlich sich beimischende Gas bis zum Grade der Unschädlichkeit. Und mit der eintretenden Abkühlung der Binnenluft des Hauses wird auch der negative Druck aufgehoben oder wenigstens herabgemindert.

3. Zu den die Bewegung der Grundluft und das Eindringen in die Häuser wesentlich beeinflussenden Momenten gehört noch die Windbewegung. Schon WOLFFHÜGEL kam bei seinen S. 52 erwähnten Versuchen zu dem Resultate, dass dem Sturm und selbst den schwächeren Windbewegungen im Freien ein beständiges Wogen der Luft im Boden entspricht und das die Luftbewegung im Freien ein beständiges Auswaschen der Grundluft mit atmosphärischer Luft voraussetzt. Mit Bezug auf das unter solchen Verhältnissen stattfindende Eindringen von Bodenluft ins Haus constatirte RENK [1]), dass die Luft aus dem Boden unter höherem Drucke in das Haus einströmt, wenn

---

1) F. RENK, Ueber das Eindringen der Bodenluft in die Häuser. Tageblatt der 54. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte. Salzburg 1881. S. 193.

äussere Windbewegung stattfindet, als bei Windstille. Die Erklärung für diese Thatsache dürfte sich folgendermaassen gestalten: Der Wind, der die Bodenoberfläche trifft, wird gerade von jener Stelle, die vom Hause eingenommen wird, durch die Wände abgehalten (vorausgesetzt, dass diese weniger permeabel sind, als der Erdboden), während er in dem Boden unter dem Hause durch die unterirdische Communication sich weiter ausbreiten kann und sich dann der Luft des Hauses gegenüber als Druck geltend machen muss. Dasselbe wird auch im Boden erfolgen müssen, nur die vom Haus bedeckte Stelle wird von einem solchen directen Drucke bewahrt sein und es wird also nach dieser Richtung hin die Bodenluft zuströmen und sich als Ueberdruck gegenüber dem Drucke im Hause geltend machen. Dass dem so ist, ist aus folgenden Beobachtungen RENK's ersichtlich: Wurde in seinen Versuchen durch Oeffnen einer Thüre oder eines Fensters dem Winde der Eintritt in den Kellerraum gewährt, so ergab sich das umgekehrte Verhältniss, die Kellerluft wies dann einen höheren Druck auf, als die Luft im Boden. Der Wind, der nun in das Haus eintreten konnte, und zwar, ohne dass er zuvor jenen grossen Widerstand zu überwinden gehabt hätte, der sich im Boden findet, liess einen Ueberdruck von Seite der Bodenluft nicht aufkommen; ja im Gegentheil, da sich im Keller die eintretende Luft doch an den Wänden staute, die Geschwindigkeit sich in Folge dessen in Druck umwandeln musste, so trat das umgekehrte Verhalten ein.

4. Endlich ist auch der Einfluss des auf den Boden auffallenden oder im Boden befindlichen Wassers zu beachten. Das auf den Boden auffallende Wasser wird in erster Linie eine Verstopfung der oberflächlichen Poren bewirken, also einen Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft verhindern. In den Regenmonaten konnten LEWIS und CUNINGHAM[1]) in Indien eine bedeutende Zunahme der Kohlensäure im Boden constatiren, die unabhängig von der Bodentemperatur und unabhängig von der durch die Feuchtigkeit hervorgerufene Steigerung der Production nur dadurch zu erklären war, dass durch den Regen die Poren der oberen Bodenschichten verlegt werden und dadurch die Bodenventilation behindert wird. Dieser Vorgang wird jedoch zur Folge haben, dass an jenen Stellen, wo keine Befeuchtung der Oberfläche eintritt, also gerade an jenen Stellen, wo der Boden mit den Häusern communicirt, ein gesteigerter Austritt der Luft statthaben kann, insbesondere auch deshalb, weil

---

1) T. R. LEWIS and D. D. CUNINGHAM, Cholera in relation to certain physica phenomena. Thirteenth annual report of the sanitary commissioner with the government of India. 1877.

ja durch das in den Boden eindringende Wasser Luft verdrängt werden muss.

In anderer Weise, von unten her, kann eine Bewegung der Grundluft veranlasst werden durch die Schwankungen des im Boden befindlichen Grundwassers. Ein Ansteigen desselben, eine Erhebung seines Niveau's, besonders wenn sie durch unterirdische Zuflüsse bedingt ist, wird eine Verdrängung der Luft, einen Austritt aus dem Boden zur Folge haben, ein Fallen desselben zum Eindringen der atmosphärischen Luft in den Boden führen. Da im Allgemeinen die Schwankungen des Grundwassers sehr allmählich erfolgen, so werden diese Bewegungen der Grundluft einen so langsamen Gang einschlagen, dass sie sich unserer Beobachtung vorerst entziehen.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, dass es vorwiegend Druckdifferenzen sind, die als bewegende Kraft für die Bodenluft figuriren. Es war deshalb von Wichtigkeit, das Gesetz zu kennen, nach welchem die Luftbewegung im Boden bei wechselndem Druck erfolgt. In den Ergebnissen der hierauf gerichteten Versuche begegnen wir aber grossen Widersprüchen. Während Fleck [1]) (S. 42) findet, dass die Ausströmungszeiten gegebener gleicher Luftmengen bei gleicher Höhe der Bodenschichten dem Manometerstande umgekehrt proportional sind, findet Renk [2]), dass eine solche direkte Proportionalität überhaupt nur innerhalb niedriger Druckgrenzen stattfindet (so lange die absolute Luftgeschwindigkeit nicht 0,062 Meter pro Secunde übersteigt) und dass sie ferner nur bei feinkörnigem Material (Mittel- und Feinsand) statt hat, bei grobkörnigem Material dagegen nur bei Anwendung hoher Schichten. Dagegen gelangt wieder Ammon [3]) zu dem Ergebniss, dass das direkte Verhältniss zwischen Druck und Quantität der geförderten Luft nur bei grobkörnigem Material wachse.

Welitschkowsky [4]) sucht diese Widersprüche aufzuklären, er hat diese Beziehungen zwischen Druck und Permeabilität in eine mathematische Formel gebracht. Bei Versuchen, die er mit Münchener Kiesboden (Grobsand, Korngrösse 1—2 Mm.) anstellte und bei denen er den Druck, unter dem Luft durchströmte, von 10—160 Mm. H_2O variirte, gewann er folgende Werthe:

Druck in Mm. Wasser	10	20	30	40	50	60	70	80
Geförderte Luftmenge pro 1 Minute in Litern	1,628	3,118	4,567	5,996	7,399	8,802	10,212	11,490
Druck in Mm. Wasser	90	100	110	120	130	140	150	160
Geförderte Luftmenge pro 1 Minute in Litern	12,985	14,202	15,410	16,826	18,088	19,647	20,803	22,061

1) Fleck, Ueber ein neues Verfahren zu Durchlässigkeitsbestimmung von Bodenarten. Zeitschrift für Biologie. XVI.

2) Renk l. c.

3) Ammon, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

4) Welitschkowsky, Beitrag zur Kenntniss der Permeabilität des Bodens. Archiv für Hygiene. II.

Vergleicht man die beiden Reihen miteinander, so findet man, dass in jenen Fällen, wo sich der Druck verdoppelt, die Luftmenge zwar auch zunimmt, aber um etwas weniger als das Doppelte, doch bleibt dieses Verhältniss der Zunahme ein ziemlich constantes. Die Berechnung ergiebt, dass die der Verdoppelung des Druckes entsprechende Zunahme der geförderten Luftmenge das 1,919fache beträgt (es sind Schwankungen von 1,912 zu 1,924).

Bei jeder Vergrösserung des Druckes um das Doppelte wächst die Menge der durchströmenden Luft in diesem Falle durchschnittlich 1,919mal.

Es ist dies so aufzufassen, dass, während die pressenden Kräfte die natürliche Zahlenreihe vorstellen, die ihnen entsprechenden Mengen der durchströmenden Luft sich als eine Function dieser Reihe ergeben. Wenn wir die Drucke mit x_1, x_2, x_3, x_4 u. s. w. bezeichnen, die entsprechenden Bestimmungen mit y_1, y_2, y_3 ... und die Grösse y als eine Function von x auszudrücken suchen, so werden wir annehmen müssen, dass

bei x_1 Druck n Liter Luft
bei x_2 " n_1 " " etc.

gefördert werden. Nach W.'s Versuchsreihe kann man aber mit hinlänglicher Sicherheit $\frac{n_1}{n} = \frac{n_2}{n_1} =$ als eine Constante A ansehen, so dass man erhält: (die Zahlen in den Klammern stellen nur eine andere Schreibweise der nebenstehenden Grössen dar)

$$\begin{array}{llll} x_1 \; [x(2^0)] = 1 \; (2^0) & & y_1 \; [y(2^0)] = n \\ x_2 \; [x(2^1)] = 2 \; (2^1) & & y_2 \; [y(2^1)] = nA \\ x_4 \; [x(2^2)] = 4 \; (2^2) & & y_4 \; [y(2^2)] = nA^2 \\ x_8 \; [x(2^3)] = 8 \; (2^3) & & y_8 \; [y(2^3)] = nA^3 \\ x_{16} \; [x(2^4)] = 16 \; (2^4) & & y_{16} \; [y(2^4)] = nA^4 \end{array}$$

also allgemein sei

$$x(2^\mu) = 2^\mu \quad . \quad . \quad 1. \qquad y(2^\mu) = nA^\mu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2.$$

Aus Gleichung 1 kann μ bestimmt werden

$$\mu = \frac{\log x(2^\mu)}{\log 2}$$

dieser Werth in Gleichung 2 eingesetzt ergiebt

$$y(2^\mu) = nA^{\frac{\log x(2^\mu)}{\log 2}}$$

oder allgemein:

$$Y_m = nA^{\frac{\log x_m}{\log 2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.$$

Nach dieser Gleichung ist es möglich, aus einer mit der Maasseinheit vorgenommenen Beobachtung die anderen zu erwartenden Resultate zu berechnen; Welitschkowsky's Versuche lassen es ihm auch wahrscheinlich erscheinen, dass die durch diese Formel ausgedrückte Abhängigkeit der Permeabilitätsgrösse vom Drucke auch bei verschiedenen Bodenarten und bei verschiedener Höhe der Schicht ihre Geltung behält.

Ferner findet Welitschkowsky, dass in analoger Weise mit dem Anwachsen der Höhe der Bodenschicht die ausströmende Luftmenge in kleinerem Verhältnisse abnimmt, als die Höhe der Schicht wächst.

Es wäre nun ausserordentlich wichtig, nähere Daten über die wirkliche Intensität der Luftbewegung im Boden und aus demselben heraus zu besitzen. Doch fehlt es über diesen Punkt fast vollständig an verwerthbaren Angaben. Ein Maassstab liesse sich vielleicht noch aus den bereits citirten Versuchen RENK's gewinnen. Er bestimmte ja den Ueberdruck, der im Boden geherrscht, mittelst des sehr empfindlichen RECKNAGEL'schen Differentialmanometers. Die Grössen, die er fand, sind natürlich ausserordentlich schwankende, da ja die Bedingungen für den Druck der Bodenluft sehr wechselnde sind; während z. B. bei ruhigem Wetter im Juni der Ueberdruck nur 0,02—0,05 Mm. Wasserhöhe betrug, stieg er am selben Tage Nachmittags, als ein strömender Regen eintrat, auf 0,32—0,75 Mm. Wasserhöhe. Aus diesen Angaben für den Druck können wir nun auf die Geschwindigkeit schliessen, mit der die Luft ins Haus strömen würde, wenn plötzlich die den Austritt der Luft so sehr beschränkende Kellerpflasterung weggenommen wäre. Die Kraft, welche die bewegte Luft ausübt, ist proportional dem Producte aus der Masse der bewegten Luft in das Quadrat der Geschwindigkeit der Bewegung.

$$p = {}^1/_2\, m v^2$$ (RECKNAGEL).[1]

Hierbei bedeutet p den Druck in Kilogramm auf 1 □Meter oder die Höhe der getragenen Wassersäule in Millimetern; m die Masse eines Cubikmeters Luft, d. i. das Gewicht eines Cubikmeters Luft dividirt durch die Beschleunigung (bei $0^0 \times 760$ Mm. Barometerstand $= \frac{1{,}293}{9{,}81} = 0{,}1318$).

Die uns unbekannte Grösse v, die Geschwindigkeit, ergibt sich aus obiger Gleichung.

$$v = \sqrt{\frac{2p}{m}} = \sqrt{\frac{2p}{0{,}1318}} = \sqrt{15{,}1\, p}.$$

An dem oben erwähnten Tage fanden sich bei der Beobachtung folgende Schwankungen:

Witterung	Wasserdruck im Boden (p)		Entsprechende Geschwindigkeit (v in Metern)
NW. 2.	0,02 Mm.	= 0,00002 Meter	0,017
	0,04 „	= 0,00004 „	0,024
	0,05 „	= 0,00005 „	0,027
Sturm Regen Gewitter	0,32 „	= 0,00032 „	0,069
	0,65 „	= 0,00065 „	0,099
	0,75 „	= 0,00075 „	0,106.

Diese Beobachtungen sind noch zu vereinzelt, zu spärlich, um zu practischen Folgerungen führen zu können. Ausserdem wird die

1) Poggendorf's Annalen 1880.

Reibung, der Widerstand im Boden sehr modificirend einwirken. Eines sei aber mit Rücksicht auf die Frage, ob Spaltpilze auf diese Weise aus dem Boden in die Luft gelangen können, hervorgehoben. Die Geschwindigkeiten, die sich hier ergeben, sind jedenfalls hinreichend, um einen derartigen Transport zu vermitteln.[1]) Wird ein Luftstrom durch eine Spaltpilze enthaltende Flüssigkeit geleitet, so genügt eine Luftgeschwindigkeit von 0,008 und noch viel weniger, um Spaltpilze auf weitere Strecken fortzuführen.[2])

Es wird dieser Gegenstand in einem späteren Capitel seine gesonderte Behandlung finden; mit Rücksicht auf die Bedeutung der Luftströmungen sei nur hervorgehoben, dass die Spaltpilze hierbei wohl nie als einzelne Individuen in Frage kommen, sondern als Bestandtheile von eingetrockneten Flüssigkeitsresten, als gröbere und feinere Partikelchen, die also schon auf eine etwas grössere Geschwindigkeit Anspruch machen. Es geht dies auch aus den Versuchen Hesse's [3]) hervor, die zu dem paradoxen, aber auf Grund dieser Erwägungen leicht verständlichen Resultate führten, dass die viel grösseren Schimmelpilze, die eben vereinzelt vorkommen, weiter transportirt werden, also leichter schwebend erhalten werden und ferner feinere Poren überwinden, als die viel kleineren Spaltpilze, die als Conglomerate auftreten.

IV. Bodenluft (Grundluft).

Bisher sind wir im Allgemeinen von der Annahme ausgegangen, dass die Luft im Boden ihrer Zusammensetzung nach der atmosphärischen gleich sei. Dies gilt jedoch nicht immer oder besser nur in seltenen Fällen, meist unterscheidet sich die Bodenluft von der atmosphärischen Luft sowohl nach ihrer qualitativen als auch quantitativen Zusammensetzung. Wir sehen hierbei von jenen Gasausströmungen, wie sie durch Defectwerden der Gasleitungen hervorgerufen werden, ab. Es erscheinen in der Bodenluft verschiedene Gase als Producte der Zersetzung organischer Substanzen, als Folgen der Lebensthätigkeit niederer Organismen, endlich auch als das Resultat vulkanischer Processe.

Die auf vulkanischer Grundlage auftretenden Bodengase treten meist in Gegenden auf, die durch ihren anderweitigen bedrohlichen Cha-

1) Soyka, Ueber den Uebergang von Spaltpilzen in die Luft. Sitzungsberichte der k. bayr. Akademie der Wissenschaften. 1879.

2) Nägeli, Ueber Bewegung kleinster Körperchen. Ebenda. 1880.

3) Hesse, Ueber quantitative Bestimmung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen. Mittheilungen des k. d. Gesundheitsamtes II, und Deutsche medicinische Wochenschrift. 1884.

rakter der menschlichen Ansiedelung Hindernisse in den Weg legen, und deshalb weniger Aufgabe hygienischer Vorsorge zu sein brauchen.

Je nach dem vorwiegenden Bestandtheil der entweichenden Gase unterscheidet man Fumarolen, bei welchem Wasserdampf das vorwaltende Material bildet, aber auch sonst Vehikel ist für andere flüchtige Stoffe, wie schweflige-, Salz- und Borsäure, Chlorverbindungen (in Island), Solfataren, wo ein Gemisch von Wasser- und Schwefeldämpfen (auch Schwefelwasserstoff und schweflige Säure) vorwiegt, und endlich Mofetten, Kohlensäuregasquellen, bei denen die Quelle der Kohlensäurebildung in der Zersetzung von Kalkstein oder anderen Carbonaten durch Kieselsäure unter Einfluss von hoher Temperatur und Wasser zu suchen ist [1]).

Auch jene, als Producte der Zersetzung vegetabilischer Substanz auftretenden Gasquellen, die aus dem Verkohlungsprocesse von Holz hervorgehen und zur Ausströmung von Kohlensäure, Sumpfgas, ölbildendem Gas und Schwefelwasserstoff führen, haben aus denselben Gründen nur wenig Bedeutung für uns. Die Kohlenwasserstoffquellen geben, in Brand gesteckt, mitunter sehr mächtige Flammen von bald geringer, bald mächtiger Leuchtkraft [2]).

Von den im Boden nachweisbaren Gasen kommt in erster Linie die Kohlensäure in Betracht. Ihr Vorkommen ist der Gegenstand vieler eingehender Untersuchungen geworden (Pettenkofer, Fodor, Fleck, Wolffhügel, Wollny u. A.). Die Processe denen sie ihre Entstehung verdankt, haben jedoch mit Rücksicht auf die Bodenverunreinigung und auf die Entwickelung und die Lebensthätigkeit niederer Organismen so grosse Bedeutung, dass wir diesen Gegenstand erst bei Gelegenheit dieser Fragen einer ausführlichen, gesonderten Besprechung unterziehen müssen (Cap. V u. VI).

Als ein Product der Zersetzung stickstoffhaltiger Substanzen findet sich sodann Ammoniak im Boden vor. Fodor [3]) fand einen Gehalt von 0,0089—0,0471 Mgrm. pro Cubikmeter. In den Versuchen Rinck's [4]) schwankte der Ammoniakgehalt zwischen 1,09—1,20 pro mille, dem Volumen nach.

Als Quelle des Ammoniak sind organische stickstoffhaltige Substanzen zu betrachten; sowohl thierischen als auch pflanzlichen Ursprungs, wenn auch erstere eine grössere Ammoniakproduction herbeiführen. Nach einer Durchtränkung des Bodens mit Harn stieg der Ammoniakgehalt der Grundluft bis auf 2,19 Volumen pro mille (Rinck). Besonders in jenen Bodenarten, die viel humöse Substanzen besitzen, scheint sich Ammoniak reichlich zu bilden, so in Torf.

1) Hann, Hochstetter und Pokorny, Allgem. Erdkunde. 1881. S. 280.

2) Credner, Elemente der Geologie. 1872. S. 195.

3) Fodor, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881. 4) Rinck, Enthält die Grundluft Ammoniak? Sitzungsberichte der physikal.-medecin. Societät zu Erlangen. 1880. 12. Heft. S. 119.

Während z. B. im Kiesboden die stickstoffhaltigen Substanzen sich leicht und rasch in salpetrige und Salpetersäure umwandeln, erscheint in sehr humusreichem Boden, in Torfboden, an Stelle dieser Oxydationsproducte das Ammoniak[1]; zum Theile wohl deshalb, weil bei der Durchtränkung des Bodens mit Wasser alle Luft vollständig verdrängt wird; die Materialien quellen hierbei sehr bedeutend auf und verschliessen alle Poren. Auch ohne directe Zufuhr von organischen Stoffen bildet sich unter diesen Umständen im Boden Ammoniak aus den stickstoffhaltigen Substanzen des Bodens selbst. Ausser Ammoniak ist auch Schwefelwasserstoff mitunter im Boden nachzuweisen, ebenfalls als Zersetzungsproduct der Producte der faulenden organischen Substanzen, oder als Folge der Reduction von schwefelsauren Salzen. Es ist vom Torfe nachgewiesen, dass derselbe, wenn er unter Wasser aufbewahrt wird, zur Bildung von Schwefelwasserstoff führen kann[2].

Auch Kohlenwasserstoffe sind, besonders in Sumpfterrain, nachgewiesen worden (Nichols[3]). Hoppe-Seyler[4] macht auf die reichliche Methanentwickelung in einem mit Wasser durchtränkten Boden aufmerksam.

Diese Anwesenheit von Gasen, insbesondere der hohe Kohlensäuregehalt der Grundluft, muss das Procentverhältniss zwischen Sauerstoff und Stickstoff wesentlich alteriren, und in der That ergeben die Analysen der Bodenluft eine wesentliche, relative Verarmung an Sauerstoff. Fleck[5] sah den Sauerstoffgehalt der Bodenluft mit Zunahme der Tiefe und des Kohlensäuregehaltes auf 15% (in 6 Meter Tiefe) sich herabmindern, Fodor[6] in 4 Meter Tiefe auf 17,3. Diese Herabminderung des Sauerstoffgehaltes ist aber nicht blos eine relative, insofern eine andere Gasart beigemischt erscheint, sondern auch eine absolute, indem Sauerstoff wirklich verbraucht wird. Dieser Verbrauch von Sauerstoff ist theils auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen zurückzuführen, durch deren Vermittelung Oxydation meist organischer Substanzen und schliesslich Kohlensäure- und Salpetersäurebildung erfolgen, theils auf die Anwesenheit leicht oxy-

---

1) Soyka, Experimentelle Untersuchungen zur Canalisation. III. Die Selbstreinigung des Bodens. München 1885.

2) A. Pagel und W. Thilo Oswald, Untersuchungen über Moorcultur. Landwirthschaftliches Jahrbuch VI. 1877. I. Supplement. 3) Nichols, Observations on the composition of the Ground atmosphere. Boston 1876.

4) Hoppe-Seyler, Ueber Gährung der Cellulose mit Bildung von Methan und Kohlensäure. Zeitschrift für physiolog. Chemie. X.

5) Fleck, Boden- und Bodengasuntersuchungen. II. Jahresbericht der chem. Centralstelle f. öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873. 6) Fodor l. c.

dabler, unorganischer Verbindungen im Boden, die den Sauerstoff leicht aufnehmen; auf diese Weise muss im Boden allmählich der O-Gehalt mit der Tiefe abnehmen und schliesslich vollständig verschwinden. Hoppe-Seyler[1]) führt diesen Vorgang und die daran sich knüpfenden Gesichtspunkte in folgender Weise aus:

„Da das Innere der Erde dem Sauerstoff entzogen zu sein scheint, so muss es an jedem Orte der Erdoberfläche eine erkennbare Grenze geben, bis zu welcher der Sauerstoff vordringt. Wenn in den mit Wasser durchfeuchteten oberflächlichen Schichten Processe verlaufen, welche sich mit der Fäulniss und Fermentwirkung, die zur Absorption von Sauerstoff in den oberflächlichen Schichten führt, vergleichen lassen, so wird diese Grenze je nach der Temperatur, dem Sauerstoffdruck an der Berührungsfläche und der Quantität des vorhandenen Ferments variirend bald höher bald tiefer liegen können. Sie wird, alles übrige gleichgesetzt, unter fliessendem Wasser, welches mit der Luft in Berührung steht, tiefer liegen als unter stagnirendem, und sie wird bei reichem Gehalte von stagnirendem Wasser an fäulnissfähigen Substanzen in den Wasserschichten, über den Boden hinauf rücken können.

Die Feststellung der Grenzfläche, bis zu welcher der Sauerstoff der Atmosphäre eindringt, kann an den meisten Orten ohne complicirte Apparate und ohne schwierige Untersuchungen ausgeführt werden, ja soweit, abgesehen von Silikaten, Eisenverbindungen im Boden enthalten sind, genügen der Anblick und einige schnell ausführbare Proben, diese Grenze schnell mit Sicherheit aufzufinden. Die Bildung von Sumpfgas, von Schwefelwasserstoff, Eisencarbonat, Eisensulfüren und an der Luft sich blau färbendem Phosphat charakterisirt die Schichten, zu denen Sauerstoff keinen Zutritt hat; während die Bildung von Eisenoxydhydrat nur soweit hinabreicht, als freier Sauerstoff vorhanden ist. Da nun geringe Quantitäten von Eisen an der Erdoberfläche sehr allgemein verbreitet sind, so ist es fast überall leicht, diese Grenze schnell festzustellen.

Es ist ein grosser Einfluss, den niedrige Organismen hinsichtlich der Reduction der Eisenverbindungen und der Sulphate auf die chemische Umgestaltung ausüben, welche die geologischen Formationen in der Nähe der Erdoberfläche erleiden; ohne Schwierigkeiten kann man künstlich an Versuchen diese Processe der Reduction durch niedrige Organismen verfolgen und die Einwirkung des Sauerstoffs auf die Reductionsproducte nachweisen.

In der Natur sehen wir, dass z. B. beim Einstich in den feuchten thonigen Schlamm von Seen, Sümpfen, derselbe, mag seine Oberfläche grün, roth oder sonst wie gefärbt sein, wenige Millimeter unter der Oberfläche schwarz gefärbt ist. Lässt man die beim Einstechen neugebildete Oberfläche kurze Zeit der Luft ausgesetzt liegen, so hat sich bald die schwarze Farbe verloren, die neue Oberfläche sieht aus wie die übrige. Es verhält der Schlamm sich sehr ähnlich, wie ein faules Stück Fleisch, welches auf der Schnittfläche zunächst eine dunkelweisse Färbung zeigt, nach kurzer Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs auf Hämoglobin an der Schnitt-

---

1) Hoppe-Seyler, Ueber die Einwirkung des Sauerstoffs auf Gährungen. Festschrift zur Feier des 25jähr. Bestehens des pathologischen Instituts zu Berlin.

fläche des Fleisches bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff durch das gebildete Schwefelmethämoglobin die Farbe der übrigen Oberfläche annimmt.
Es ist kaum zu bezweifeln, dass die Beachtung der Verschiedenheit der oberhalb und unterhalb der Sauerstoffgrenzfläche im Boden und Grundwasser verlaufenden Processe, so wie die Beobachtung des Steigens und Fallens dieser Grenzfläche mit Aenderung der Durchfeuchtung, der Temperatur und des Zuströmens fäulnissfähiger Substanzen für die Kenntniss der hygienischen Verhältnisse sehr förderlich sich erweisen wird.“

Man hat in früheren Zeiten den aus dem Boden entströmenden Gasen, den Bodenausdünstungen, eine grosse Rolle für die Erregung von Krankheiten zugeschrieben; die Gasausdünstungen, die sich aus sich zersetzenden animalischen und vegetabilischen Stoffen entwickeln, sind als die Hauptquellen für die Infectionskrankheiten und im Allgemeinen für die „Fieber“ der Alten angesehen worden, und der Begriff des Miasmas deckt sich zum guten Theil mit diesem Vorgange. Wir verweisen mit Rücksicht auf die Erörterung dieser Frage auf die Aetiologie der Infectionskrankheiten. Seitdem die Annahme von der organisirten Natur der Infectionserreger eine immer befestigtere wird, haben die gasförmigen Bodenbestandtheile, ihre Emanationen, wesentlich symptomatische Bedeutung. Sie deuten auf Zersetzungsvorgänge im Boden hin, die zumeist an die Lebensthätigkeit niederer Organismen geknüpft sind, und ihre Beimischung zur Luft lässt es als möglich erscheinen, dass mit diesen Luftbewegungen — vorausgesetzt, dass es nicht blos Diffusionserscheinungen sind — Pilze in die Luft gelangen (vgl. Cap. VI). Insofern läge bereits eine Möglichkeit vor, dass die Bodenluft in ihren Beimengungen einen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen ausüben könnte. Eine zweite bestünde sodann darin, dass die Grundluft, die Luft aus dem Boden, sich der Athemluft beimischt, und bei gewissen Mischungsverhältnissen als Gift wirkt. In Brunnenschachten und Bergwerken, besonders wenn sie längere Zeit nicht in Betrieb gewesen sind, kommt es manchmal zu Ansammlungen irrespirabler, selbst giftiger Gase, sodass bei unvorsichtigem Einsteigen wiederholt Menschenleben gefährdet werden. Es sind besonders Kohlensäureansammlungen, die hier die Giftigkeit der Luft veranlassen, seltener Anhäufungen von Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffen.

Es ist sodann noch ein dritter, freilich indirecter Einfluss, den die Grundluft auf die menschliche Gesundheit nehmen kann, der aber in der Geschichte der Endemien und Epidemien vielleicht eine wesentliche Rolle spielt, und der sich darauf stützt, dass die Pilze in ihrer Lebensthätigkeit, in ihrem Wachsthum und in ihrer Infectiosität von der Beschaffenheit der Luft, die Zutritt zu denselben hat, ganz

wesentlich beeinflusst werden. — Im Allgemeinen werden die Pilze bei Abschluss der Luft viel empfindlicher.

Von Schimmelpilzen wissen wir, dass sie im Allgemeinen ein grösseres Sauerstoffbedürfniss besitzen.

Luftzutritt im Vereine mit mässiger Erwärmung begünstigen das Wachsthum der Sprosshefe. Traubenmost kann bekanntlich ohne Luftzutritt vergähren, die Gährung tritt aber in dem nämlichen Maasse um so rascher ein, je länger derselbe vor dem Abschluss die Einwirkung der Luft erfahren hat, der nämliche Traubenmost, der bei Zutritt von Luft in 20—30 Tagen vergährt, bedarf dazu unter Abschluss von Luft 4—7 Monate.

Harn ernährt bei Luftabschluss die Sprosspilze nicht; bei Luftzutritt vermag er ziemlich reichlich Sprosshefe zu bilden.

Wird der Zutritt der Luft verhindert, so vermögen Ammoniaksalze mit Zucker die Sprosspilze zwar noch durch viele Generationen zu ernähren, aber die Vermehrung ist jetzt eine viel geringere und hört in Folge von Erschöpfung nach viel weniger Generationen auf, als bei Zutritt von Sauerstoff.[1])

Auch die Spaltpilze zeigen verschiedene Lebensäusserungen, je nachdem sie in einer sauerstoffhaltigen resp. sauerstoffreichen oder in einer sauerstoffarmen resp. sauerstofffreien Atmosphäre leben. Gewisse Gährungen, Harnsäure-Gährung, Gährung der Asparagins, die sogenannten Oxydationsgährungen, verlangen entschieden Luftzutritt. Enthält Harn 9% Zucker und 4,5% Alkohol, so bleibt bei Abschluss der Luft die Vermehrung der Spross- und Spaltpilze aus, während bei Luftzutritt zuerst die Spaltpilze sich vermehren.[1])

Hoppe-Seyler (l. c.) constatirte, dass durch Einwirkung von überschüssigem Sauerstoff auf Bacteriengährung (in Eiweisslösungen) eine reichliche Ausbildung von Bacterien und Micrococcen, und hierdurch eine Beschleunigung der Gährung und Umwandlung der durch die Gährung zerfallenden organischen Substanzen durch energische Oxydation zu Kohlensäure, Wasser und Ammoniak erfolgt.

Dann gibt es wieder Spaltpilze, bei denen der Zutritt von Sauerstoff die Gährung, also die Lebensthätigkeit oder wenigstens eine Form der Lebensthätigkeit verhindert, demnach die Leistung derselben aufhebt oder wenigstens modificirt (vgl. Fermente S. 180).

Nach Buchner[2]) werden Milzbrandpilze durch erhöhte Sauerstoffzufuhr in nichtinfectiöse Pilze umgewandelt, und in den Versuchen Pasteur's[3]), die die Abschwächung der organisirten Gifte, die „atténuation des virus", sich zur Aufgabe machen, spielt — neben dem Temperatureinfluss — die Sauerstoffzufuhr eine gewisse Rolle. Endlich ist auch die Bedeutung des Luft- resp. Sauerstoffzutrittes auf die Bildung von Dauerformen, von Sporen zu berücksichtigen[4]).

---

1) Nägeli, Untersuchungen über niedere Pilze. 1882.

2) H. Buchner, Ueber die experimentelle Erzeugung des Milzbrandes aus dem Heupilze, in Nägeli, Untersuchungen über niedere Pilze. 1882.

3) M. Pasteur, De l'atténuation des virus. Quatrième Congrés international d'hygiène et de Démographie à Genève. 1882. 1. 127.

4) Koch, Beiträge zur Biologie der Pflanzen. II. — Soyka, Fortschritte der Medicin. IV.

Wie der Sauerstoff gewisse Lebensthätigkeiten der Pilze zu beeinflussen vermag, geht aus den Untersuchungen ENGELMANN's[1]) hervor. Die Fäulnissbacterien, besonders gewisse Schraubenformen, zeigen in ihrem Schwärmzustande ein Verhalten, welches auf ein grosses Sauerstoffbedürfniss schliessen lässt; sie sammeln sich überall dort an, drängen sich zu, wo sich freier Sauerstoff vorfindet oder entwickelt wird, also in eingeschlossenen Luftblasen, in Sauerstoff abscheidenden Algen. Bei Abschluss von Sauerstoff geben sie ihre Bewegung auf. Diese Einwirkung des Sauerstoffs ist aber auch noch graduell verschieden. Von manchen Spaltpilzformen, Spirillen, wird nur eine beschränkte Sauerstoffspannung ertragen, die geringer ist als die der atmosphärischen Luft. Im Allgemeinen wirkt Sauerstoff bewegungsbeschleunigend, Kohlensäure in geringer Beimengung auf frische Bacterien excitirend, in grösserer Menge dagegen lähmend.[2]) Ozon dürfte im Boden kaum in Betracht kommen, auch dieses wirkt paralysirend.

Aus alledem geht hervor, wie wichtig diese Verhältnisse werden können, wenn deren Studium auch bisher gerade mit Rücksicht auf den Boden noch kaum in Angriff genommen ist. Jedenfalls werden sich bei der verschiedenartigen Zusammensetzung der Luft in verschiedenen Bodenschichten etwas complicirte Verhältnisse ergeben.

Hieran ist noch ein eigenthümliches Verhalten des Bodens gegenüber Gasen anzuschliessen, das in der Absorption derselben durch den Boden besteht. Der Boden ist im Stande, Wasserdampf aus der Luft zu absorbiren. Nach BABO verhält sich der bei 35—40° ausgetrocknete Boden mit Rücksicht auf seine wasseranziehende Kraft wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium u. s. w. Ausserdem ist das Absorptions- resp. Condensationsvermögen[3]) verschiedener Bodenarten für Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Sumpfgas, Schwefelwasserstoffgas nachgewiesen (DE SAUSSURE, REICHARDT und BLUMTRITT, DÖBRICH, SCHEERMESSER, DÉHÉRAIN, SIMON, BRUSTLEIN, EICHHORN, BRETSCHNEIDER u. A.). Dasselbe wächst mit der Feinheit der Bodenpartikel und mit abnehmender Temperatur (bis zu 0—10°), bei welcher Temperatur das Absorptionsvermögen am grössten ist. Mit Rücksicht auf die Natur der Gase ist die Absorption bei jenen, welche sich leicht in den flüssigen Zustand überführen lassen, und welche leicht Veränderungen erfahren

---

1) ENGELMANN, Pflüger's Archiv. XXV. 2) GROSSMANN u. MAYERSHAUSEN, Ueber das Leben der Bacterien in Gasen. Pflüger's Archiv. XV.

3) G. AMMON, Untersuchungen über das Condensationsvermögen der Bodenconstituenten für Gase. Forschungen auf dem Gebiete für Agriculturphysik. II.

grösser als bei den anderen. Dabei sind besonders das Eisenoxyd und die Humussubstanzen von grossem Einfluss.

Einzelne der absorbirten Gase erleiden auch noch chemische Veränderungen wie z. B. das Ammoniak, aus dem sich Salpetersäure, der Schwefelwasserstoff, aus dem sich Schwefel abscheidet, auch Schwefeleisen bildet, das Sumpfgas, aus dem sich empyreumatische Substanzen bilden.

Ein interessantes und bedeutsames Factum haben BIEFEL und POLECK[1]) bezüglich des Leuchtgases constatirt. Werden nämlich längere Erdschichten von Leuchtgas durchströmt, so gibt dieses einen Theil seiner Bestandtheile an den Boden ab und zwar sind es vorzüglich die riechenden Bestandtheile. BIEFEL und POLECK leiteten Leuchtgas im langsamen Strome durch ein 2,35 Met. langes und 5 Cm. weites eisernes Rohr, das mit Erde von sandig-humöser Beschaffenheit gefüllt war. Beim Austritt aus der Röhre hatte das Gas seinen unangenehmen charakteristischen Geruch fast ganz verloren, und die Analyse ergab folgende Differenzen von dem ursprünglichen Gase.

In 100 Theilen waren enthalten:

	a) Leuchtgas	b) durch die Erdschicht geströmtes Gas
Kohlensäure	3,06	2,23
Schwere Kohlenwasserstoffe	4,66	0,69
Sumpfgas	31,24	17,76
Wasserstoff	49,44	47,13
Kohlenoxyd	10,52	13,93
Sauerstoff	0,00	6,55
Stickstoff	1,08	11,71.

Nach dieser Tabelle sind circa 75% der schweren Kohlenwasserstoffe und mit ihnen die im Gase befindlichen Dämpfe der riechenden Theerbestandtheile sowie 50% vom Sumpfgas im Boden zurückgehalten worden. Es kann in diesem Umstande insofern eine Gefahr für die Gesundheit liegen, als bei Gasausströmungen, die unterirdisch durch eine längere Erdschicht erfolgen, nicht sofort der charakteristische Geruch wahrgenommen wird. Es sättigen sich diese Bodenschichten jedoch in kurzer Zeit, so dass bei längerem Durchströmen, wenn ungefähr das 5—6fache des Porenvolumens des Erdbodens durchgegangen war[2]), der Geruch bald wieder erscheint.

Es soll hier noch aufmerksam gemacht werden auf die Rolle, die der Boden bei diesen Vorgängen nach seiner mechanischen Zusammensetzung zu spielen vermag.

---

1) BIEFEL u. POLECK, Ueber Kohlendunst- und Leuchtgasvergiftung. Zeitschrift für Biologie. XVI. S. 304. 2) H. BUNTE, Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1885.

Die Absorption von Gasen im Boden beruht jedenfalls zum grossen Theil auf jenen Adhäsionserscheinungen der Gase, die eine oberflächliche Verdichtung derselben an den festen Körpern zur Folge haben. Jeder feste Körper überzieht sich so mit einer dünnen Haut von aussen an Dichte zunehmenden Gases, die bei starker Anziehung oft mit Hartnäckigkeit an ihm haftet, und die auch bei Benetzung der Oberfläche, bei völligem Eintauchen in Flüssigkeiten haften bleibt und nur bei höheren Temperaturen zum Verschwinden gebracht werden kann. Die Quantität des so condensirten Gases ist von der Grösse der Oberfläche der festen Körper abhängig. Je feinere Partikel ein Boden enthält, je feiner sein Korn ist, desto grösser muss die Gesammtoberfläche dieser einzelnen Körner ausfallen, und desto mehr Gas kann condensirt werden.

Um ein anschauliches Bild darüber zu geben, wie grosse Differenzen durch die Grösse des Korns eintreten können, wollen wir wieder, wie bei der Betrachtung der Permeabilität des Bodens (S. 39) von der Voraussetzung ausgehen, dass der Boden aus vollkommen gleichartigen und regelmässigen, kugeligen Elementen besteht, und diese in ihren Dimensionen von 0,05—10 Mm. variiren lassen.

Wir erhalten dann für die Oberfläche des einzelnen Kornes den Werth $4\pi r^2$. Die Summe (U) der Oberflächen sämmtlicher Kugeln entspricht der Zahl aller Kugeln, die sich in einem bestimmten Volumen befinden (wir gehen von dem Volumen eines Liters aus), multiplicirt mit der Oberfläche dieser Kugeln ($4\pi r^2$).

$$U = N \cdot 4\pi r^2 \quad \dots\dots\dots \quad 1.$$

Die Zahl N der Summe sämmtlicher Kugeln entspricht dem (wahren) Volumen (V) sämmtlicher Kugeln, getheilt durch das Volumen der einzelnen Kugel $\frac{4}{3}\pi r^3$.

$$N = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad \dots\dots\dots \quad 2.$$

Daraus erhalten wir

$$U = \frac{3\,V}{r} \quad \dots\dots\dots \quad 3.$$

Wir werden natürlich für V zwei Werthe einzusetzen haben, je nach der Lagerung; bei dichter Lagerung ist $V = 740$ Ccm., bei lockerer Lagerung $= 524$ Ccm. Es sind bisher für wenig Gase Berechnungen angestellt über die Mengen, die von einer bestimmten Fläche condensirt werden können.

Magnus fand, dass 1 □Mm. Glasfläche bei 0° und 1 Atm. Druck gegen 0,0008 Cbmm. schweflige Säure mehr festhält als bei 100°. Nach Chiozza condensirt dieselbe Fläche 0,0157 Cbmm. Kohlensäure [1]), nach Bunsen [2]) sogar bis zu 0,0507 Cbmm. Freilich wird bezüglich dieser Zahlen Bunsen's der Einwand erhoben, ob es sich hierbei nicht um eine chemische Bindung durch die meist alkalisch reagirende Glaswolle gehandelt habe. Nach Chappuis [3]) lösen sich von der Oberfläche eines Quadratmillimeter-Glases durch Erwärmen von 0,180°: 0,00027 Cbmm. Wasserstoff, 0,00035

1) Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung.

2) R. Bunsen, Ueber capillare Gasabsorption. Annalen d. Physik u. Chemie. XX u. XXIII.

3) Annalen der Physik und Chemie. VIII. 1879.

Cbmm. Luft, 0,00059 Cbmm. Kohlensäure, 0,00083 Cbmm. schweflige Säure, 0,00083 Cbmm. Ammoniak.

Wir wollen auf Grund dieser Zahlen, und zwar der von CHAPPUIS für Luft gefundenen Werthe, eine vergleichende Zusammenstellung der Befunde bei wechselndem Korn geben 1).

Halbmesser des Korns	Oberfläche eines Korns $4\pi r^2$	Gesammtoberfläche $\left(\frac{3V}{r}\right)$		Diese Gesammtoberfläche entspricht einem Quadrat, dessen eine Seite beträgt in Metern:		Condensirtes Gas in Cbcm.	
		bei dichter Lagerung $\frac{3 \times 740}{r}$	bei lockerer Lagerung $\frac{3 \times 524}{r}$	bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung	bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung
Mm.	Mm.	□Mm.	□Mm.				
0,005	0,000314	444,000000	314,400000	21,071	17,732	155	110
0,010	0,001257	222,000000	157,200000	14,899	12,537	77,7	55
0,050	0,031416	44,400000	31,440000	6,663	5,607	15,5	11
0,100	0,125664	22,200000	15,720000	4,711	3,965	7,8	5,5
0,500	3,141592	4,440000	3,144000	2,107	1,773	1,55	1,1
1,000	12,566370	2,220000	1,572000	1,490	1,254	0,78	0,55
5,000	314,159200	444000	314400	0,666	0,561	0,15	0,11
10,000	1256,637000	222000	157200	0,471	0,396	0,08	0,05

Hieraus können wir ersehen, dass es zu nicht unbedeutenden Gasvorräthen im Boden kommen kann, und dass dieselben je nach dem Gefüge des letzteren Schwankungen unterworfen sind. Mit Rücksicht auf die in diesem Abschnitte angeführten Thatsachen über den Einfluss von Gasen auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen sind diese Verhältnisse von grosser Bedeutung (vgl. auch Cap. VI). Wir werden auch sehen, dass der Ablauf gewisser Zersetzungsvorgänge im Boden (Cap. V) von dem mechanischen Gefüge des Bodens wesentlich beeinflusst wird.

V. Wassergehalt des Bodens.

Nur in seltenen Fällen trifft es zu, dass ein in unserem Sinne poröser Boden in seinen Hohlräumen nur gasförmigen Inhalt besitzt; in den meisten Fällen ist neben dem gasförmigen Inhalt oder anstatt seiner ein tropfbar flüssiger vorhanden.

Bei der Würdigung dieses Umstandes werden wir aber wieder eine Einschränkung zu machen haben, zu der wir bereits bei der Definition der Porosität gelangten. So wie, vom allgemein physikalischen Standpunkte aufgefasst, selbst die scheinbar compactesten Gesteine ihre Poren besitzen, so wird auch keines derselben für Wasser absolut undurchdringbar erscheinen, und es findet auch in der That eine Durchfeuchtung desselben bis tief in die Gebirgsmassen hinein statt, so dass jedes frisch gebrochene Gestein mehr oder weniger

1) SOYKA, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.

gebirgsfeucht ist. Allein schon aus den Versuchen von Delesse (S. 26) geht hervor, wie geringfügig die in solchen Fällen mögliche Wasseraufnahme ist, besonders wenn wir sie in Vergleich setzen mit den gleich zu erwähnenden Wassermengen, die im „porösen" Boden vorkommen; ausserdem sind die in solchen Gesteinen vorhandenen Wassermengen so sehr einer jeden, etwas unmittelbareren Einwirkung auf ihre Umgebung entzogen, so schwer in Wechselbeziehung zu bringen mit dieser Umgebung, dass wir vom Standpunkt der Geophysik und Geologie die Berechtigung haben, solche in unserem Sinne aporöse Gesteine auch als nicht aufnahmsfähig für Wasser anzusehen.

Wir werden also in Analogie zu den porösen und aporösen Bodenarten solche mit einem Wasserfassungsvermögen und solche ohne dasselbe zu unterscheiden haben. (Von jenen Vorgängen, durch welche das Wasser vom Boden infolge einer chemischen Action aufgenommen wird, beim Anhydrit z. B., können wir hier, wo es sich um das Vorkommen von tropfbar flüssigem Wasser handelt, natürlicher Weise absehen.)

Nur auf eine weitere Analogie mit der Porosität sei hingewiesen. So wie bei dieser (S. 24) betont wurde, dass wir zu unterscheiden haben zwischen der Porosität des Bodens als Ganzen und der seiner einzelnen Fragmente, so wird auch der Boden mit Rücksicht auf seine Fähigkeit, Wasser in sich aufzunehmen, nach dieser Auffassung verschieden charakterisirt werden. Schon die citirten Untersuchungen von Delesse bieten uns auch den Beweis, dass Gesteine, Bodenarten, die an und für sich aporös sind, also auch für Wasser keine Aufnahmefähigkeit und Durchgängigkeit besitzen, diese Eigenschaft durch Zerkleinerung in hohem Maasse gewinnen, dass die Imbibitionsfähigkeit verschiedener Gesteine ausserordentlich wechselt, je nachdem sie in Form von compacten Fragmenten oder von Pulver untersucht wurden, vorausgesetzt, dass wir ein solches Pulver als Ganzes und nicht in seinen einzelnen Partikeln betrachten.

100 Gewichtstheile der Substanz nahmen Wasser auf:

	a) als compacte Fragmente	b) als Pulver
Granit	0,06	27
Marmor (sehr compact)	0,08	17
Thonschiefer (grauschwärzlich mit Trilobiten von Anger)	0,19	31
Schwarzer Schiefer mit vegetabilischer Einlagerung (Terrain huillier)	2,85	36
Meerschaum	91,15	201.

Fassen wir dementsprechend die Verhältnisse ins Auge, wie sie sich in der Natur darbieten. Wir werden hierbei zwei Zustände aus-

einander zu halten haben bezüglich des Wassergehaltes im Boden. Das Wasser ist in dem einen Fall in solcher Menge vorhanden, dass es alle Poren ausfüllt, wie dies in den hier angeführten Versuchen von Delesse der Fall ist, es hat alle Luft aus den Poren verdrängt (abgesehen von jenen Lufthüllen, die in Folge der Adhäsion resp. Condensation an den festen Körpern haften und erst bei hoher Temperatur sich entfernen lassen, S. 75). Bei diesem Vorgange, der sich in allen jenen Bodenschichten repräsentirt, die Grundwasser führen (Theil II, Cap. II), liegt das Maass für den Wassergehalt in der Porosität, dem Porenvolumen des Bodens, und dient ja auch diese Methode der Anfüllung sämmtlicher Hohlräume mit Wasser zur Bestimmung des Porenvolumens.

Im anderen Falle dagegen sind nicht sämmtliche Poren, oder wenigstens nicht der ganze Rauminhalt jeder einzelnen Pore mit Wasser gefüllt; es findet sich neben dem Wasser auch noch Luft im Boden, und je nach dem wechselseitigen Mengenverhältniss, in dem diese beiden Stoffe zueinander stehen, wird der Ablauf äusserst wichtiger Vorgänge im Boden wesentlich modificirt.

Fleck[1]) fand bei Bestimmungen des Wassergehaltes, die er in Dresden anstellte, folgende Schwankungen (die Grundwasser führende Schichte war in einer Tiefe von 9,4 Metern anzutreffen).

In 1000 Litern = 1 Cubikmeter waren enthalten Kilo Wasser:

Bodentiefe in Metern	schwarze Gartenerde	Bauschutt	schwach-lehmiger Sand	Kies, sehr lehmreich	Kies	sehr feiner Sand
0,1	—	—	—	—	—	31,7
0,12	73,8	—	—	—	—	—
0,60	—	66,6	—	—	—	—
0,80	—	25,3	—	—	—	—
1,00	—	—	—	—	—	33,9
1,20	—	33,0	—	—	—	—
2,00	—	30,1	—	—	—	43,1
2,10	—	—	125,6	—	—	—
2,64	—	—	131,7	—	—	—
3,0	—	—	—	—	—	71,1
3,10	—	—	137,4	—	—	—
3,37	—	—	—	117,0	—	—
3,60	—	—	—	103,2	—	—
4,0	—	—	—	—	—	36,9
4,10	—	—	—	—	54,2	—
4,60	—	—	—	—	44,8	—
5,0	—	—	—	—	—	29,6
5,10	—	—	—	—	53,0	—
5,60	—	—	—	—	57,2	—
6,0	—	—	—	—	—	28,9
6,10	—	—	—	—	54,7	—

1) Fleck, Ueber die Beziehungen der Bodenarten und Bodengase zu den Grundwasserverhältnissen. II. Jahresbericht der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873.

Fodor[1]) fand Differenzen im Wassergehalte je nach Bodenart, Jahreszeit und Tiefe von 3,2 Grm. Wasser in 100 Grm. Boden bis zu 16,8 Grm.

Ausführliche Bestimmungen liegen sodann von Hofmann[2]) vor bezüglich des Leipziger Bodens, die sowohl mit Rücksicht auf die mineralogische Natur der untersuchten Bodenarten, als auch auf die Tiefe der Schicht werthvolle Aufschlüsse geben.

Es folgen zunächst die Wasserbestimmungen in einem hochgradig verunreinigten Boden von je einer Stelle, die zur Ablagerung von Strassenschlamm, Schutt u. dgl. gedient hatten.

Bodenart	Tiefe der Erdschicht	Auffüllmaterial			
		Frankfurter Strasse		Schleussiger Weg	
		100 Grm. Boden enthalten Wasser in Grammen	1 Liter Boden enthalten Wasser in Grammen	100 Grm. Boden enthalten Wasser in Grammen	1 Liter Boden enthalten Wasser in Grammen
Auffüllung	0,00—0,25	18,4	348	29,8	486
	—0,75	30,1	385	12,5	255
	—1,25	17,0	321	16,1	282
	—1,75	15,9	312	15,8	276
	—2,25	32,2	534	19,8	347
	—2,90	18,6	345	—	—
Wiesenlehm	—3,00	18,5	370	20,2[3])	381
	Mittel	21,5	388	19	338

Diesen Befunden stehen die aus ganz reinem Boden gewonnenen gegenüber.

Wassergehalt eines reinen Diluviallehm- und Sandbodens bei Grabung eines Brunnens (Mai 1882).

Tiefe der Erdschicht in Metern	Sandiger Geschiebelehm		Reiner Sand		Kies		Thoniger Geschiebelehm	
	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser
0,90—2,30	6,17	136	—	—	—	—	—	—
3,10	—	—	4,00	91	—	—	—	—
3,85	—	—	—	—	1,80	32	—	—
6,05	—	—	—	—	3,24	66	—	—
6,55	12,40	261	—	—	—	—	—	—
7,25	—	—	—	—	—	—	10,04	218
8,25	8,24	175	—	—	—	—	—	—
8,75	—	—	3,34	64	—	—	—	—
9,05	9,40	203	—	—	—	—	—	—
9,45[4])	—	—	—	—	37,77	687	—	—

1) Fodor, Hygienische Untersuchungen u. s. w.
2) Hofmann, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv für Hygiene. I.
3) Der Wiesenlehm trat hier in einer Tiefe von 2,50 Metern zu Tage.
4) Unmittelbar über dem Grundwasser, das bei 9,5 Metern anstund.

Wassergehalt aus einem reinen, möglichst gleichartigen Boden zur Zeit der grössten Durchfeuchtung (December 1879 bis April 1880). Leipziger Friedhofsboden — 100 Grm. Erde enthalten Gramm Wasser:

Tiefe der Erdschicht in Metern	Diluviallehm	Diluvialsand	Bänderthon
0,00—0,5	10,1—16,0	—	—
0,5 —1,0	10,0—14,1	9,5	—
1,0 —1,5	11,0—14,2	6,5	—
1,5 —2,0	11,1—13,7	8,3	—
2,0 —2,5	9,5—12,0	3,6	—
2,5 —3,0	9,3—11,5	5,2—8,1	21,5
3,0 —3,25	—	—	16,0—23,1
3,25—3,50 [1])	6,5	3,8—9,1	—

Diese Befunde, wie sie in den natürlichen Bodenarten constatirt wurden, zeigen, dass der Wassergehalt des Bodens grossen Schwankungen unterworfen ist, und wir können auch annähernd erkennen, wodurch diese Schwankungen bedingt sind.

Sie hängen in erster Linie mit örtlichen und zeitlichen Verhältnissen zusammen. Dieselbe Bodenart, z. B. Kies, die in einer Tiefe von 3,85 Metern 32 Grm. Wasser im Liter enthält, führt 9,45 Meter tief und nur 5 Cm. über dem Grundwasser 687 Grm. im Liter, also mehr als 20 mal so viel. Ein reiner Sand, dessen Wassergehalt am 2. December in der Tiefe von 3,25—3,5 Metern 3,8 Gewichtsprocent erreicht, besitzt in Perioden höchster Durchfeuchtung (19. December) 9,1 Gewichtsprocent Wasser.

Die Differenzen scheinen ferner im mineralogischen resp. chemischen Charakter des Materials zu liegen; unter denselben Verhältnissen, d. h. am selben Orte und zu nicht wesentlich verschiedener Zeit, zeigt z. B. Bänderthon einen Wassergehalt von 21,5 Gewichtsprocent, Diluvialsand dagegen nur einen solchen von 11,5. Ein an organischen Substanzen sehr reicher, sehr verunreinigter Boden, der Auffüllboden, zeigt in analogen Tiefen durchweg einen bedeutend höheren Wassergehalt (15,8—32,2 Gewichtsprocent) als ein reiner Boden (mit 1,8—12,4 Gewichtsprocent Wassergehalt).

Auch die Structur, der physikalische Charakter scheint von Einfluss zu sein (Bänderthon), wenn auch die hier angeführten Versuche diese Seite weniger hervortreten lassen.

Es ist nun unsere Aufgabe, die Bedingungen für diesen wechselnden Wassergehalt des Bodens, der epidemiologisch eine grosse Rolle spielt, aufzuklären.

---

1) Das Grundwasser trat bei einer Tiefe von 12,5 Metern zu Tage.

Die hierfür maassgebenden Factoren sind: die Wassercapacität des Bodens, die capillare Leitung des Wassers im Boden und die Permeabilität des Bodens für Wasser, endlich auch die Verdunstung aus dem Boden.

VI. Wassercapacität des Bodens.

Für das äusserste Maass der Fähigkeit eines Bodens, Wasser in sich aufzusammeln, haben wir in der Porosität desselben, der für das Porenvolumen festgestellten Grösse, den entsprechenden Ausdruck gefunden (S. 27); es wird damit diejenige Menge Wassers gekennzeichnet, die nöthig ist, um die Poren eines Bodens so vollständig mit Wasser zu erfüllen, dass alle Luft, alle Gase aus demselben verdrängt sind, also einen Boden mit Wasser vollkommen zu sättigen, ein Zustand, wie er ungefähr bei den Grundwasser führenden porösen Bodenschichten hergestellt ist (Theil II). Dieser Zustand kann jedoch in den meisten Fällen nur dann eintreten, wenn der Abfluss des Wassers nach unten zu gehemmt ist. Ist dies jedoch nicht der Fall, so wird nach den hydrostatischen Gesetzen das Wasser abzufliessen suchen und zwar wird je nach der Höhe der Wassersäule, der Natur des Bodens und Beschaffenheit der Poren (die die Grösse und Form der Ausflussöffnung repräsentiren) das Wasser in wechselnder Menge und mit wechselnder Geschwindigkeit abfliessen. Ein vollständiger Abfluss tritt jedoch nicht ein. Der Boden hält wechselnde Mengen Wassers in sich zurück und wir bezeichnen diese Fähigkeit des Bodens, von dem ihm zur Verfügung stehenden Wasser, trotz freien Abfliessens des letzteren, eine gewisse Menge zurückzuhalten, im Allgemeinen mit dem Ausdrucke „Wassercapacität“ oder „specifischer Wassergehalt“, früher auch „wasserfassende Kraft“. Der Grund für diese Erscheinung liegt in den zwischen festen und flüssigen Körpern herrschenden Adhäsionserscheinungen, die sich in zweifacher Weise hier kundgeben, in der Benetzung und in der capillaren Hebung des Wassers. Die Adhäsion, die zwischen den Bodenpartikeln und dem Wasser besteht, ist im Stande, sowohl die Cohäsion des Wassers, als auch die Schwerkraft desselben bis zu einem gewissen Grade zu überwinden, so dass bestimmte, von der jeweiligen Grösse der Adhäsion abhängige Wassermengen im Boden zurückbleiben. Hiermit combinirt sich die Capillarwirkung, durch welche in den zwischen den Bodenelementen befindlichen capillaren Hohlräumen ebenfalls Flüssigkeit entgegen der Schwerkraft zurück-

gehalten wird. Die Grenzen, die der Wirkung beider dieser Kräfte durch das Entgegenwirken der Schwerkraft gezogen sind, lassen die Wassercapacität in zwei graduell verschiedenen Modificationen sich präsentiren, nämlich als eine grösste oder volle Wassercapacität, bei welcher sämmtliche Capillaren mit Wasser gefüllt sind, und eine absolute oder kleinste Wassercapacität, welche das Minimum von Wasser repräsentirt, welches trotz freien Abflusses vom Boden unter allen Umständen festgehalten wird, wenn demselben ein Wasserüberschuss zur Verfügung stand.[1]) Die Capillaritätswirkung — die Benetzbarkeit der Substanz, d. h. die Adhäsion des Wassers an derselben vorausgesetzt — kann sich stets doch nur bis zu einer gewissen Höhe erstrecken (die dem Durchmesser des Capillarraumes umgekehrt proportional ist); bei ungehindertem Wasserabfluss können also nur diejenigen Capillarräume vollständig gefüllt bleiben, deren Höhe in einem bestimmten Verhältniss zu ihrer Weite ist. In den höheren, mit freiem Abfluss gegen die Tiefe, gegen das Grundwasser versehenen, von dieser Schicht aber etwas entfernteren Bodenlagen wird also auch bei der stärksten Befeuchtung bald der Zustand der absoluten oder kleinsten Wassercapacität sich einstellen; dagegen wird sich die volle oder grösste Wassercapacität in gewissen, unmittelbar am Wasser (Grundwasser) befindlichen Bodenschichten etabliren, in einer Bodensäule von so geringer Höhe, dass eben die Schwerkraft von der Capillaritätswirkung übertroffen wird.

Die Wassercapacität des Bodens ist nun von verschiedenen in den Bodenelementen selbst gelegenen Factoren abhängig.

In erster Linie können wir hierfür den mineralogischen resp. chemischen Charakter der Bodenelemente verantwortlich machen. Allerdings muss bei derartigen Untersuchungen, wo die Bedeutung eines einzelnen Factors in die Erscheinung treten soll, dieser einzelne Factor auch vollständig isolirt hervortreten; dieser Bedingung suchte A. Mayer[1]) gerecht zu werden, indem er die mechanischen resp. physikalischen Differenzen, die, wie wir sehen werden, ebenfalls eine grosse Rolle spielen, möglichst eliminirte.

Bei seinen Bestimmungen der vollen Wassercapacität durch Einfüllen des Materials in Würfel aus Messingdraht von 5 Cm. Länge und Aufgiessen von Wasser bis zur völligen Sättigung fand er folgende Differenzen:

---

1) Adolf Mayer, Ueber das Verhalten erdartiger Gemische gegen das Wasser. Landwirthschaftliche Jahrbücher. III. 1874.

Volle Wassercapacität in Volumprocent des Bodens.

Korngrösse Durchmesser	Quarz	Kalkspath	Gyps	Thonstein
2,7—4,2 Mm.	19,1 (100)	20,5 (107)	22,3 (116)	26,1 (136)
0,9—2,7 „	38,4 (100)	34,9 (90)	39,24 (102)	43,0 (112)
0,3—0,9 „	48,97 (100)	39,3 (80)	49,3 (100)	46,75 (95)
staubfein bis 0,3 „	49,95 (100)	39,3 (78)	42,4 (85)	43,45 (87)

Die Zahlen in Klammern geben die relativen Werthe an.

Die Unterschiede, die sich durch die chemische oder petrographische Natur der Bodenbestandtheile ergeben, erscheinen auf den ersten Blick nicht bedeutend, wir können, späterem vorgreifend, erwähnen, dass sie von den durch die physikalische Structur bedingten weit übertroffen werden; trotzdem spielt der petrographische Charakter im concreten Falle eine grosse Rolle, insofern als er die Veranlassung ist, dass dem Boden eine bestimmte physikalische Structur zu Theil wird. Die Versuche Meister's, die mit natürlichen Bodenarten, ohne Berücksichtigung der Differenzen der Structur, angestellt wurden, gaben für die volle Wassercapacität folgende Werthe (in Volumprocent):

Sandboden (82 % Sand)	45,4
„ (64 „ „)	65,7
Quarzsandboden	46,4
Kreideboden	49,5
Thonboden	50,0
Gypsboden	52,4
Kalkboden	54,9
Lehmboden	60,1
Torfboden	63,7
Gartenerde	69,0
Humusboden	70,3

Es lässt sich aus diesen Zahlen wenigstens auf den erhöhenden Einfluss schliessen, den der Lehm- und Humusgehalt, sowie der Gehalt an organischen Stoffen auf die Wassercapacität besitzt.

Vom reinen Torf wissen wir, dass er das 3—10 fache seines Trockengewichts Wasser aufnehmen kann, für andere vegetabilische Stoffe fand Krutsch eine Wassercapacität von 226—281 Gewichtsprocent für verschiedene Stroharten, von 221 für Kiefernadeln, von 308 für Fichtennadeln, von 441 für Buchenlaub. Reinl[1]) bestimmte die Wassercapacität (die volle) der einzelnen Moorarten mit 195—1013 % ihres Trockengewichtes.

Freilich handelt es sich hierbei nicht mehr um die Wirkung der Adhäsion und Capillarität allein, hier treten schon Imbibitionserscheinungen auf. Jedenfalls ist aber der Gehalt an organischen

1) C. Reinl, Vergleichende Untersuch. üb. d. therapeut. Werth d. bekanntesten Moorbäder Oesterreichs und Deutschlands. Prager med. Wochenschr. 1886. S. 120.

Stoffen (den Elementen der Bodenverunreinigung) ein Factor, der den Boden zu einem für Wasser sehr aufnahmsfähigen und deshalb Schwankungen im Wassergehalt sehr zugänglichen Materiale macht und in der oben S. 80 angeführten Untersuchung Hofmann's spricht sich dieser Umstand ziffermässig aus; der an organischen Substanzen so reiche Auffüllboden enthielt durchschnittlich doppelt so viel Wasser als ein reiner Boden. Auch Fodor [1]) machte in Budapest die Erfahrung, dass sich der dortige Untergrund in dem Maasse feuchter oder trockener erwies, als er mit organischen Stoffen mehr oder weniger verunreinigt war, und so sieht auch Hofmann in der Reinhaltung des Bodens ein Mittel, seine Trockenheit zu fördern.

Die Ursache für die in der chemischen Beschaffenheit des Bodens liegenden Differenzen in der Wassercapacität liegt zuvörderst in der verschiedenen Adhäsionsfähigkeit des Wassers an den Bodenelementen. Nach allgemein physikalischen Gesetzen ist das Gewicht der an der Längeneinheit gehobenen Flüssigkeit abhängig von dem Randwinkel, den die Flüssigkeit mit der Röhrenwand macht und der die Grösse der Adhäsion zwischen Wasser und Boden ausdrückt. Die Differenzen, die sich in diesen Werthen ergeben, sind aber keineswegs so gross, dass sie nicht durch andere Momente compensirt werden könnten. Hierzu tritt dann der Umstand, dass es nicht möglich ist, die Materialien derart zu zerkleinern, dass die Körner verschiedener Bodenconstituenten die gleiche physikalische resp. geometrische Beschaffenheit haben. Es hängt dies mit der verschiedenen Spaltbarkeit der Mineralien zusammen; dadurch wird aber in die Experimente ein Factor eingeführt, der, wie gleich gezeigt werden wird, von mächtigerem Einfluss ist, als der zu bestimmende; in Folge dessen fehlt denn für die genaue Beurtheilung des Einflusses, den die chemische Beschaffenheit des Bodens allein auf die Wassercapacität auszuüben vermag, die Gleichartigkeit der anderen Bedingungen. Die durch die chemischen Bodendifferenzen beeinflusste Wassercapacität hängt aber auch noch mit den physikalischen Unterschieden der chemisch differenten Bodenconstituenten ab, wie der Porosität und Imbibitionsfähigkeit der einzelnen Bodenpartikel; sind z. B. einzelne Bodenmaterialien an und für sich porös, so summiren sich zu den durch die Anlagerung der Körner gebildeten Hohlräumen auch noch die Poren der einzelnen Körner (Gyps, Thonstein, Torf).

Die Beeinflussung der Wassercapacität durch die physikalischen resp. mechanischen Bodenverhältnisse tritt viel deutlicher in die Erscheinung und lässt sich viel zuverlässiger feststellen.

---

1) Fodor, Hygienische Untersuchungen u. s. w. Braunschweig 1881.

Wir wollen die oben S. 83 angeführten Versuche MAYER's über die volle Wassercapacität nochmals und zwar diesmal mit Rücksicht auf die Porosität betrachten:

		Quarz Vol.-%	Kalkspath Vol.-%	Gyps Vol.-%	Thonstein Vol.-%
Korn 1.	Porenvolumen .	40,7	41,7	39,9	39,2
	volle Wassercap.	19,1 (100)	20,5 (100)	22,3 (100)	26,1 (100)
Korn 2.	Porenvolumen .	43,6	41,6	40,0	42,7
	volle Wassercap.	38,4 (201)	34,9 (170)	39,24(175)	43,4 (166)
Korn 3.	Porenvolumen .	45,7	39,6	44,5	41,4
	volle Wassercap.	48,97(255)	39,23(191)	49,3 (221)	46,75(170)
Korn 4.	Porenvolumen .	48,3	41,1	45,5	47,1
	volle Wassercap.	49,95(261)	39,3 (191)	42,4 (190)	43,45(166)

Mit der Kleinheit des Korns wächst die volle Wassercapacität und zwar sind die Differenzen weit grösser als die durch den mineralogischen Charakter bedingten. Während diese letzteren nicht über 36 % sich erstreckten, finden wir hier, dass mit der Feinheit des Korns die Capacität um mehr als 150 %, also als das Anderthalbfache, zunehmen kann.

Wir finden in dieser Tabelle eine beachtenswerthe Coincidenz; je feiner das Korn, desto grösser wird die Uebereinstimmung zwischen der die volle Wassercapacität anzeigenden Grösse und dem Porenvolumen. Es ist das in dem Vorgange selbst begründet. Derselbe ist eine Folge der Anwesenheit von Capillarräumen im Boden, je kleiner nun das Korn des Bodens, desto grösser wird die relative Zahl der capillaren Hohlräume, bis endlich bei einer gewissen Kleinheit des Korns sämmtliche Hohlräume als Capillarräume existiren und dann das ganze Porenvolumen mit Wasser erfüllt wird. Ja das zurückgehaltene Wasser kann an Volumen selbst das Porenvolumen übertreffen, entweder in Folge der Porosität der einzelnen Bodenpartikel, Gyps, Thonstein, oder weil sich nach der Befeuchtung Lageveränderungen ausbilden.

In der Natur wird die volle oder grösste Wassercapacität nur zu gewissen Zeiten und in bestimmten Bodenschichten zu constatiren sein, in den oberen Bodenschichten, wenn sie sich in einiger Entfernung vom Grundwasser befinden, nur bei Niederschlägen. Constant wird sie nur in jenem Bezirke erscheinen, der unmittelbar an die vom Wasser vollkommen erfüllten Bodenschichten angrenzt, also oberhalb des Grundwassers sich vorfindet, und wird da, je nach der chemischen und physikalischen Bodenbeschaffenheit, verschieden hoch ansteigen, jedoch immer nur eine Schichte von höchstens einigen Centimetern erfüllen; da die Schwerkraft schliesslich die capillare

Hebung überwindet und es bleiben nur noch die feinsten Capillaren gefüllt; auf diese Weise etablirt sich im Boden ein Zustand, der der absoluten oder kleinsten Wassercapacität entspricht.

Die Schwankungen, die sich in dieser kundgeben, werden analogen Gesetzen folgen, wie die der vollen Wassercapacität, nur werden die Excursionen etwas anders ausfallen.

A. MAYER bestimmte dieselben beim Quarz, indem er den Boden 1 Meter hoch in Glasröhren von 1,7 Cm. Weite einfüllte, die unten mit Leinwand verbunden waren.

Die Glasrohre bestanden aus zwei mit einer Kautschukverbindung aneinandergefügten Stücken, von denen das untere 0,75, das obere abhebbare 0,25 Meter Länge hatte. Der Boden wurde von obenher gänzlich mit Wasser gesättigt und nachdem das überschüssige Wasser abgetropft war, aus dem oberen Theile der Röhre Erde zur Bestimmung des aufgenommenen Wassers entnommen; auf diese Weise waren die Fehler, die etwa durch die in den untersten Schichten etablirte volle Wassercapacität eintreten konnten, eliminirt.

	Quarz Korngrösse	Absolute Wassercapacität
4.	staubfein bis 0,3 Mm.	44,6% = 1000
3.	0,3—0,9 „	13,7% = (307)
2.	0,9—2,7 „	17,0% = (157)

RENK[1]) und HOFMANN[2]) und WOLLNY[3]) gehen in der Variation der Korngrösse noch weiter. RENK experimentirte mit Bodensäulen von 0,5 Meter und 0,24 Meter Höhe und vernachlässigte die in den untersten Bodenschichten etwa sich etablirende volle Wassercapacität. Als Material diente der sehr kalkhaltige Kies des Alpengerölls und die glacialen Schollen der bayrischen Hochebene.

Material	Korngrösse Durchmesser kleiner als	Freies Porenvolumen	Wassercapacität		
			Von 100 Porenvolumen sind mit Wasser gefüllt	1000 Cbcm. Boden enthalten Cubikcentimeter	
				Wasser	Luft
1. Feinsand . .	1/3—1/4 Mm.	55,5	65,1	361 (1000)	194 (100)
2. Mittelsand . .	1 „	37,9	47,0	195 (540)	220 (113)
3. Grobsand . .	2 „	37,9	23,4	89 (246)	290 (149)
4. Feinkies . . .	4 „	41,5	7,8	29 (80)	350 (180)
5. Mittelkies . .	7 „	55,5	6,6	25 (69)	353 (182)

HOFMANN's Versuche waren mit ganz reinem Quarze vorgenommen, wie ihn das Leipziger Diluvium darbietet.

1) l. c. 2) HOFMANN, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Arch. f. Hygiene. I.

3) WOLLNY, Untersuchungen über die Wassercapacität der Bodenarten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.

Material	Korngrösse Durchmesser kleiner als	Freies Poren-volumen	Absolute Wassercapacität		
			Von 100 Poren-volumen sind mit Wasser ge-füllt	1000 Cbcm. Boden enthalten Cubikcentimeter	
				Wasser	Luft
1. Feinsand . .	0,5 Mm.	41,3	84,0	347 (1000)	66 (100)
2. Mittelsand . .	0,5 „	41,3	65,4	270 (778)	143 (216)
3. Grobsand . .	1 „	40,0	37,5	150 (432)	250 (379)
4. Feinkies . . .	2 „	41,0	23,9	98 (282)	312 (472)
5. Mittelkies . .	3 „	41,8	18,4	77 (221)	341 (516)
6. Grobkies . . .	5 „	43,4	12,7	55 (158)	379 (574)

Ich habe die Befunde mit Rücksicht auf die Wassercapacität in absteigender Reihe gruppirt, um einen Vergleich zwischen den verschiedenen Bodenarten leichter zu gestalten, obzwar er bei den nicht ganz gleichmässigen Versuchsbedingungen nicht völlig durchzuführen ist. Bezüglich der Differenz in den quantitativen Verhältnissen zwischen den Resultaten Renk's und Hofmann's sei hervorgehoben, dass das Alpengerölle im Allgemeinen grobporiger ist, als der Quarzboden. In den Versuchen Renk's und Hofmann's ist auch noch die trotz der gesättigten Wassercapacität vorhandene Luft in Berücksichtigung gezogen worden; es erhellt aus denselben das wichtige Resultat, dass ein solcher Boden trotz seiner grossen Wassercapacität immer noch eine bedeutende Anzahl lufthaltiger Räume beibehält.

Die Unterschiede in der absoluten Wassercapacität sind also viel bedeutender als die in der vollen Wassercapacität, und zwar besonders je nach dem physikalischen Charakter des Bodens.

Der Lehmboden und wohl auch die organischen Substanzen haben hier wieder eine exceptionelle Stellung. Quarzboden von einem Korndurchmesser von 0,010—0,071 Mm. hat eine absolute Wassercapacität von 35,56 Volumprocent, Lehmkrümel von 0,0—025 Mm. Durchmesser eine solche von 42,91. Quarzboden von einem Korndurchmesser von 1,0—2,0 Mm. hat eine absolute Wassercapacität von 3,66 Volumprocent, Lehmboden von demselben Korndurchmesser dagegen noch 31,05 Volumprocent (Wollny).

In einer und derselben Bodenart, in verschiedenen Stadien der Zerkleinerung kann die Wassercapacität auf das 157- und wohl noch Mehrfache erhöht werden, wie schon Mayer hervorgehoben. Aus der Reihenfolge der Zahlen ist aber ersichtlich, dass die Zunahme nicht gleichmässig erfolgt. Sie ist anfangs eine allmähliche und steigt plötzlich viel stärker an. Das erklärt sich leicht aus der Betrachtung der Bodenarten resp. der durch sie in ihrer Grösse bestimmten Bodenporen. So lange der Durchmesser der letzteren grösser ist als der eines Capillarrohres, wird die Zahl der nicht capillaren Räume über die der capillaren bedeutend überwiegen müssen (Columne 3—5 in der Tabelle nach Renk und Columne 4—6 in der Tabelle nach Hofmann). Geht aber der Durchmesser unter diese Grenze herab, dann werden fast sämmtliche Räume zu Capillarräumen

und also die Wassercapacität mit einem Male eine bedeutend grössere. Es kommt aber bei diesen Versuchen auch auf die mehr oder weniger dichte Lagerung an. Dieselbe Bodenart RENK's aus Col. 2, die bei einer Lagerung, bei welcher sie 41,5$^0/_0$ Porenvolumen hatte, eine Wassercapacität von 282 Cbcm. Wasser im Liter Boden darbot, zeigte bei einer lockeren Lagerung mit 55,5$^0/_0$ Porenvolumen eine absolute Wassercapacität von nur 258 Cbcm. Aus diesem Beispiele, sowie aus den Tabellen überhaupt sehen wir ferner, wie wenig Uebereinstimmung zwischen der Porosität, dem Porenvolumen im Allgemeinen und der Wassercapacität ist. Das Porenvolumen ist in Col. 2 u. 3, ferner 1 u. 5 bei RENK, in Col. 1, 2 u. 4 von HOFMANN gleich gross, die Wassercapacität aber ausserordentlich verschieden.

Die absolute Wassercapacität hängt auch von gewissen ausserhalb des Bodens gelegenen Bedingungen, nämlich von der Art der Befeuchtung ab. Die Versuche RENK's weisen nach, dass wenn die Befeuchtung des Bodens von unten her erfolgt, die Wassercapacität eine bedeutendere ist, als wenn das Wasser von oben eindringt.

Material	Korngrösse	Freies Porenvolumen	Absolute Wassercapacität					
			Von 100 Porenvolumen sind mit Wasser gefüllt		1000 Cbcm. Boden enthalten Cbcm. Wasser bei Befeuchtung		1000 Cbcm. Boden enthalten Cbcm. Luft bei Befeuchtung	
	Durchmesser kleiner als		von oben	von nnten	von oben	von unten	von oben	von unten
Feinsand	$^1/_3$—$^1/_4$ Mm.	55,5	65,1	77,6	363	430	194	125
Mittelsand . . .	1 "	37,9	47,0	68,1	195	283	220	132
Grobsand	2 "	47,9	23,4	31,2	89	118	290	261
Feinkies	4 "	41,5	7,8	16,9	29	64	350	315
Mittelkies	7 "	55,5	6,6	12,6	25	48	354	331

Die Ursache für diese Erscheinung ist wohl darin zu suchen, dass bei einer Befeuchtung von unten her, bei welcher die Luft, ohne einen Widerstand zu überwinden, frei nach oben ausweichen kann, die Capillarräume vollständiger mit Wasser gefüllt werden, während bei einer Befeuchtung von oben her das in die engsten Capillaren eindringende Wasser mitunter einen noch gefüllten Luftraum zum Verschluss bringt, und nun selbst einen derartigen Widerstand darbietet, dass die Luft aus demselben nicht entweichen kann. Ferner auch darin, dass bei dem Aufsteigen des Wassers von unten her die Bodenpartikel viel vollständiger vom Wasser umspült werden, und also auch mehr Wasser durch blosse Adhäsion haften bleibt.

Mit Rücksicht auf den Umstand, dass eine Durchfeuchtung gewisser Bodenschichten in der Natur gleichfalls von unten her erfolgen kann, ist dieser Thatsache eine grössere Beachtung zu widmen. Es

wurde oben S. 40 u. 76 auf die grossen Zahlenunterschiede aufmerksam gemacht, die sich ergeben, wenn man — ausgehend von einem homogenen, aus regelmässigen, kugeligen Elementen zusammengesetzten Boden — die Summen der Oberflächen dieser Kugeln bei wechselndem Radius berechnet; es wurde, anknüpfend hieran, das Gasvolumen berechnet, das auf diese Weise durch Adhäsion in einem solchen künstlichen Boden festgehalten werden kann. In analoger Weise können wir die Wassermengen berechnen, die durch Adhäsion an den Bodenkörnchen festgehalten werden. Bezeichnen wir die Höhe der Schicht, in welcher das Wasser die Bodenkörner bedeckt, mit h, so berechnet sich der Cubikinhalt dieser Wasserhülle (W) nach der Formel $W = {}^4/_3\,\pi\,(r + h)^3 - {}^4/_3\,\pi r^3$.

Es lässt sich auf experimentellem Wege zeigen, dass bei Herbeiführung der absoluten Wassercapacität derartige Hüllen von mindestens 0,015 Mm. Höhe bestehen können. Wenn wir nach der soeben angeführten Formel diese Mengen ausrechnen, dabei aber von einer noch viel kleineren Wasserhülle: 0,005 Mm. ausgehend, so erhalten wir folgende Zahlen:

Halbmesser des Korns Mm.	Wasserhülle bei 0,005 Mm. Höhe Cbmm.	Wassermenge im Liter	
		bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung
0,005	0,0000037	5,180000 Cbmm. = 5,180 Liter	3,668000 Cbmm. = 3,668 Liter
0,010	0,0000099	1,757284 „ = 1,757 „	1,244319 „ = 1,244 „
0,050	0,0001733	244948 „ = 0,245 „	173442 „ = 0,173 „
0,100	0,0006602	116640 „ = 0,117 „	82594 „ = 0,083 „
0,500	0,0158655	22422 „ = 0,022 „	15827 „ = 0,016 „
1,000	0,0631469	11155 „ = 0,011 „	7899 „ = 0,008 „
5,000	1,5723000	2221 „ = 0,002 „	1573 „ = 0,002 „
10,000	6,2823000	1109 „ = 0,001 „	786 „ = 0,001 „

Auf diese Weise wird es verständlich, welch ausserordentlich grosse Rolle die Verkleinerung der Bodenpartikel bei der Wasseraufnahme spielen muss (A. Mayer, Delesse). Natürlich wird in solchen extremen Fällen, wie sie in den beiden ersten Horizontalreihen dargestellt sind, die Wasseraufnahme mit einer bedeutenden Volumvermehrung einhergehen [1]).

Diese wechselnden Zustände von Feuchtigkeit im Boden haben ihre grosse hygienische Bedeutung, die freilich bisher nicht genügend erforscht ist. Besonders das Wachsthum der Entwickelung niederer Organismen wird hierdurch wesentlich beeinflusst. Nägeli [2]) zeigt,

1) Soyka, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.

2) Die niederen Pilze. München 1877.

dass ein geringer Wassergehalt die Entwickelung der Schimmelpilze begünstigt, während Spaltpilze verkommen und zu Grunde gehen. Hofmann (l. c.) beobachtete wiederholt, dass Kinderleichen, welche in die oberflächliche und deshalb zur Sommerzeit leichter trocknende Schicht der Kindergräber beerdigt waren, hauptsächlich der Zerstörung durch Schimmelpilze anheim fielen, während die ihrer Grösse wegen schwerer austrocknenden und tiefer liegenden Leichen von Erwachsenen in dem gleichen Friedhofsboden durch Fäulniss aufgelöst wurden. Ich [1]) konnte auf experimentellem Wege nachweisen, dass die Lebensthätigkeit der Hefepilze durch die wechselnde Bodenfeuchtigkeit in ausserordentlicher Weise beeinflusst wird; dass mit einer Abnahme oder Zunahme der Feuchtigkeit aber ein gewisses, sich als optimum erweisendes Maass der Gährung gehemmt wird, ja durch eine Abnahme bis unter eine bestimmte Grenze vollständig gehemmt wird, und dies innerhalb Feuchtigkeitsgrenzen, wie sie Hofmann im natürlichen Boden wirklich vorgefunden hat, dass ferner die Bildung von Dauerformen (Sporen) bei Spaltpilzen gleichfalls abhängig ist von den Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit [2]) (vgl. auch Cap. VI).

Diese Thatsachen und Erwägungen rechtfertigen demnach die grosse Aufmerksamkeit, die wir der Bodenfeuchtigkeit und den ihre Schwankungen beeinflussenden Factoren zuwenden.

VII. Capillare Leitung des Wassers im Boden.

Die im vorigen Abschnitt geschilderten Veränderungen im Wassergehalt stehen in der Natur in innigem Zusammenhang mit der Bewegung des Wassers im Boden. Aus diesem Grunde, ebenso aber auch, weil mit dieser Bewegung die Frage nach dem Transport der gelösten wie geformten Verunreinigungen, der Concentration der letzteren, der Verdunstung, den Temperaturveränderungen u. s. w. verbunden ist, verdient der Gegenstand seine Bedeutung.

Im Anschluss an die mit der Wassercapillarität des Bodens so eng verknüpfte Wassercapacität wollen wir zuvörderst die capillaren Bewegungen des Bodens in Betracht ziehen.

I. Aufwärtsbewegung des Wassers im Boden.

Stellt man eine mit irgend einer Bodenart gefüllte Glasröhre in ein Gefäss mit Wasser, so sieht man, wie das Wasser anfangs sehr rasch in den Boden eindringt, in demselben aufwärts steigt, bis all-

1) Soyka, Die Lebensthätigkeit niederer Organismen bei wechselnder Bodenfeuchtigkeit. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

2) Idem, Bacteriolog. Untersuchungen u. s. w. Fortschritte der Medicin. 1886.

mählich die Intensität abnimmt und es schliesslich zu einem scheinbaren oder wirklichen Stillstand kommt.

Es ist vorauszusetzen, dass die verschiedenen Bodenarten, je nach ihrer chemischen Beschaffenheit und ihrer Structur, sich verschieden verhalten werden. Liebenberg [1]) hat eine Reihe von Bodenarten auf diese Fähigkeit hin untersucht und die Resultate in der Weise zusammengestellt, dass er ersichtlich macht, in welcher Zeit eine bestimmte Steighöhe erreicht worden war. (Die Steighöhe in Centimetern angegeben.) Vgl. die Tabelle auf S. 92.

Es prägen sich in dieser Tabelle aufs Deutlichste grosse Verschiedenheiten aus, um jedoch einen Einblick in diesen Vorgang zu gewinnen, wird es nöthig sein, denselben wieder nach jedem einzelnen der betheiligten Momente zu zerlegen; so ist es z. B. in diesem Falle fraglich, welchen Antheil die jeweilige mechanische, welchen die chemische Zusammensetzung des Bodens besitzt, ja wir werden bei der Beurtheilung der capillaren Wasserleitung in diesem Vorgange selbst wieder zwei Phasen zu unterscheiden haben. Die Verschiedenheiten im capillaren Wasserleitungsvermögen sprechen sich aus, einmal in der Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben und womit die Grösse des Wasserleitungsvermögens gekennzeichnet wird, dann aber in der Geschwindigkeit, mit welcher das Aufsteigen des Wassers bis zu einer gewissen Höhe erfolgt. Bezüglich der Grösse des Leitungsvermögens, zu dessen Constatirung die Versuche so lange fortgesetzt werden müssten, als überhaupt ein Aufsteigen von Flüssigkeit erfolgt, sei vorausgeschickt, dass bei dem Umstande, dass die entsprechenden Versuche meist nach einer kürzeren oder längeren Untersuchung abgebrochen wurden, zu einer Zeit, wo noch Niveauveränderungen, noch ein wenn auch nur minimales Aufsteigen von Flüssigkeit stattfand, wir kaum richtige absolute Werthe werden angeben können. Immerhin können wir aber aus Versuchen, die eine längere Zeit fortgesetzt wurden, die relativen Werthe für dasselbe benützen, da über eine gewisse Zeit hinaus manche der entscheidenden Differenzen verschwinden.

Analog dem Vorgange, den wir bei den Beziehungen des Bodens zur Luft eingehalten haben, wollen wir auch hier zuerst den Einfluss des chemischen resp. mineralogischen Charakters der Bodenconstituenten auf die Capillarität verfolgen. Er dürfte nach den bisherigen Erfahrungen, die bei der Permeabilität für Luft und bei der Wassercapacität gemacht wurden, nicht allzu bedeutend in die Erscheinungen treten, auch werden wir hier wieder der Schwierigkeit begegnen,

1) Liebenberg, Ueber d. Verhalten d. Wassers im Boden. Inaug.-Diss. Halle 1873.

Höhe (in Cm.), bis zu welcher das Wasser gestiegen war nach:	½ Stunde	1½ "	1 Tag	3 Tagen	6 "	12 "	18 "	22 "	24 "	29 "	31 "	33 "	35 "	36 "
Grober Tertiärsand	18,5	23	76	101,5	112	118	118,6	119	119,2	119,7	120	*		
Malmlehm	7	11	41,5	60	75	93	104	108	109,5	112	113	114	114,8	115,2
Lössmergel	15	24	69	92	102	105	108	110	†					
Humöser Lösslehm	17	22,5	55	70	79	87	91,5	93,5	94,5	98	98,5	99,5	100	101
Lösslehm	8	12	40	58	71	86,5	94,5							
Feiner Diluvialsand	29	39	63	70	72	74,5	76	76,6	77	78	78,4	78,8	79,2	
Lehmmergel	14	23	45	55	60	66,5	70	71,5	72,5	74	75	75,6	76,2	
Basaltboden	9,5	13	31	37	43	50,5	56	59	61,5	64	65	66	67	67,5
Granitboden	7	10,5	26	35	42	51	56	59	61,5	64	65	66	67	67,5
Röthboden	6	9	26,5	38	46	54	58	60,5	61	63,3	64	64,6	65,4	65,8
Lehm	20	25	38,5	46	51	55,5	58,5	60,5	61,5	63,4	64,2	65	65,5	
Malmmergel	10	15,5	55,5	63	†									
Feiner Tertiärsand	21,5	30	44	47	50	53,0	57,5	59,2	59,5	61	*			
Auelehm, Krume	9	11	21	31	39	46,5	51,5	54	54,8	57	57,8	58,8	59,5	59,8
Auelehm, Untergrund	11	15,5	35	44,5	48	50,8	52,5	54	54,5	56	56,2	56,5	56,8	57
Muschelkalk	8	10	20	28	35	44	48,5	50,5	51,5	54	54,6	55,4	56,2	56,5
Sandmoor	11	16,5	31	38	42,5	46	48,2	49,3	50	50,5	50,7	50,9	51,1	
Mittelfeiner Tertiärsand	26	31	41	43	45,5	48	49	50,5	51	*				
Porphyr congl.	7	8	15	21	27	32,5	36,5	38	38,8	40,3	41	41,4	41,8	42
Porphyr. verwittert	10,5	11	21	25	29	34	37	38	38,6	40,2	40,8	41,2	41,8	42
Grober Diluvialsand	16	17,5	20	21	22,5	25,2	26,8	27,8	28,1	28,6	28,8	29		
Thon	0,3	0,6	3,5	6	9	15	19,5	21,5	22,5	25,7	26	27	27,8	28

* Die mit diesem Zeichen versehenen Boden zeigten kein weiteres Steigen des Wassers.
† Boden mit diesem Zeichen haben sich zusammengezogen, in Folge dessen ihre Continuität zerrissen und kein Wasser mehr aufgenommen wurde.

dieses Moment rein ohne Complication mit dem Einfluss des physikalischen resp. chemischen Charakters zu studiren, da ja die einzelnen Bodenpartikelchen durch ihre chemische Beschaffenheit Verschiedenheiten in ihrer Structur, ihren Begrenzungsflächen u. s. w. zeigen. Die Bedingungen für die capillare Leitung liegen ja nicht allein in der durch die chemische Natur des Körpers bedingten Benetzbarkeit derselben, dem Winkel, den die Flüssigkeit mit der Körperoberfläche bildet, sondern auch in der Beschaffenheit der den Capillarraum begrenzenden Körper, in der Form der Capillaren.

Von wesentlicher Bedeutung wird auch sein, ob die Substanzen selbst wieder porös sind, ob sie sich durch Wasseraufnahme in ihrem physikalischen Zustande ändern (wie z. B. Thon, Torf). Meister gibt eine allgemeine Charakteristik verschiedener Boden, nach welcher dem Thonboden die grösste capillare Leitungsfähigkeit zugeschrieben werden kann, daran reihen sich die humösen Boden, dann folgen die sandreichen, endlich der Gyps- und Kreideboden. Die Reihenfolge für die Schnelligkeit der Leitung ist eine etwas andere. In sandreichem Boden vollzieht sich die Leitung rasch, im Thon-, Torf- und Kreideboden dagegen viel langsamer.

Edler's [1]) Untersuchungen, die wir zur quantitativen Beurtheilung der Grösse der capillaren Leitungsfähigkeit heranziehen wollen, haben als Versuchsmaterial drei Bodenarten, Diluvialmergel, Diluviallehm und Tertiärsand; die Korngrösse war 0,1—0,05 Mm. Durchmesser, ein immer noch relativ grosser Spielraum in den Dimensionen, der den Werth der Resultate beeinträchtigt. Die Versuche fortgesetzt bis zum Zeitpunkt, wo die Steigung des Wassers gleich 0 geworden war, ergeben:

	Diluvialmergel	Diluviallehm	Tertiärsand
Das Wasser war gestiegen am 1. Tage	39,5 Cm.	56 Cm.	57,75 Cm.
" 2. "	50,5 "	63,5 "	63 "
" 5. "	62,5 "	67,5 "	66,5 "
" 10. "	65,75 "	68,25 "	68 "
" 21. "	68,25 "	69,25 "	70,25 "
" 37. "	69,25 "	70 "	71,5 "
" 38. "	69,75 "	70,5 "	72 "
" 71. "	—	—	73,5 "
" 89. "	—	—	74,25 "
" 106. "	—	—	74,75 "

Die Differenzen in der Grösse des Leitungsvermögens sind nun ziemlich unbedeutend; doch ist auch die Zahl der Materialien eine etwas beschränkte und ihre Auswahl eine zu wenig mannigfaltige.

1) Edler, Die capillare Leitung des Wassers. Inauguraldissertation. 1883.

Grössere Differenzen erhalten wir, wenn wir die andere Seite der Frage ins Auge fassen, die Schnelligkeit, mit der bei einzelnen Materialien die Leitung erfolgt. Klenze [1]) brachte vier Bodenarten auf möglichst gleiches Korn (unter 0,3 Mm.): 1. weissen Marmor; 2. reinen Quarz, beide gepulvert; 3. Torf aus dem Kolbenmoor bei Rosenheim (Bayern) mit nur 1% Sand und Asche; 4. Kalksand von einem natürlichen humösen Kalksandboden.

Die Schnelligkeit, mit der das Wasser aufstieg, gibt sich in folgenden Zahlen kund:

	Marmorstaub I. Cm.	Quarzstaub II. Cm.	Torf III. Cm.	Kalksand IV. Cm.	Quarzboden V. Cm.
Das Wasser war gestiegen nach 15 Min.	3,0	5,0	7,5	20,0	16,7
Zunahme nach weiteren 15 Minuten	2,6	3,5	2,2	6,9	3,8
″ ″ ″ ″ ″	1,0	1,2	0,7	1,9	1,1
″ ″ ″ ″ ″	1,0	1,3	0,4	2,1	1,4
″ ″ ″ ″ ″	1,2	1,3	0,6	2,4	1,4
″ ″ ″ ″ ″	1,0	1,5	0,6	1,9	0,9
″ ″ ″ ″ ″	0,6	1,2	0,5	0,7	0,9
″ ″ ″ ″ ″	0,6	1,0	0,3	1,6	0,8
″ ″ ″ 60 ″	2,6	3,5	0,1	2,5	2,3

Die Schnelligkeit ist, wenigstens zu Beginn des Versuches, eine sehr verschiedene, variirt bis in das Siebenfache und, mit Ausnahme des Torfes, bei dem wegen der eigenthümlichen Quellungserscheinungen ein Vergleich mit den anderen Materialien nicht recht zulässig ist, behalten die Materialien ihre Reihenfolge auch bei nach der Schnelligkeit, mit der der Auftrieb des Wassers erfolgt.

Bei den Versuchsböden Edler's, die ein viel feinkörnigeres Material enthielten (Durchmesser 0,1—0,05 Mm.), müssen die Capillaritätserscheinungen sich viel deutlicher ausprägen. Das Aufsteigen der Zeit nach erfolgte nach folgender Reihe:

	Diluvialmergel	Diluviallehm	Tertiärsand
Das Wasser war gestiegen nach 10 Min.	5 Cm.	12 Cm.	14,5 Cm.
Zunahme nach weiteren 15 Minuten	3,5 ″	4,25 ″	9, 0 ″
″ ″ ″ 155 ″	8,5 ″	16,5 ″	23,5 ″
″ ″ ″ 21 Stunden	22,5 ″	17 ″	10,75 ″
″ ″ ″ 24 ″	11,0 ″	7,5 ″	5,25 ″
″ ″ ″ 24 ″	5,75 ″	2,25 ″	2,0 ″
″ ″ ″ 7 Tagen	9,50 ″	2,50 ″	3,0 ″
″ ″ ″ 11 ″	2,50 ″	1,0 ″	2,25 ″
″ ″ ″ 17 ″	1,50 ″	1,25 ″	1,70 ″

1) Klenze, Untersuchung über die capillare Wasserleitung im Boden und die capillare Sättigungscapacität für Wasser. Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1877.

Es herrscht in diesen Reihen eine gewisse Unregelmässigkeit. Der Tertiärsand, der ursprünglich die beiden anderen Materialien an Leitungsfähigkeit des Wassers weit übertrifft, tritt dann in den Hintergrund, offenbar zu jener Zeit, wo die Schwere der gehobenen Wassersäulen die Capillaritätswirkung zu sehr beeinträchtigt; scheint aber schliesslich gegenüber den beiden anderen Materialien ein Uebergewicht wieder zu gewinnen. Diluviallehm und Diluvialmergel, die sich mit Rücksicht auf die Grösse des Wasserleitungsvermögens analog verhalten, zeigen in Bezug auf die Schnelligkeit derselben ebenfalls wechselnde Verhältnisse. Ursprünglich ist die des Lehms eine viel bedeutendere und nach Erreichung einer bestimmten Höhe gegen die des Diluvialmergels zurückgetreten. Inwiefern der Kalkgehalt des Diluvialmergels, der 4,08% betrug, dieses Resultat beeinflusst, lässt sich aus den Versuchen nicht eruiren.

Die Differenzen sind hier kleiner als bei den Versuchen von Klenze. Es hängt dies offenbar damit zusammen, dass die Dimensionen der untersuchten Materialien und damit auch die der Capillarräume geringere sind. Hierdurch wird wahrscheinlich, dass bei noch kleinerem Korn die Unterschiede sich noch weiter verwischen und endlich gleich 0 werden. Einen Beleg dafür liefert die nachstehende, ebenfalls aus den Versuchen Edler's zusammengestellte Tabelle, bei

Korngrösse unter 0,01 Mm.

	Kaolin	Diluvial-lehm	Diluvial-mergel	Kreide
	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
Das Wasser war gestiegen nach 1 Stunde	2,00	3,00	3,50	2,50
Zunahme nach weiterer 1 Stunde	1,00	1,25	1,00	1,00
⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗	0,50	0,50	0,75	1,50
⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗	0,50	0,50	0,75	
⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗	0,50	0,50	0,50	0,50
⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗	0,50	0,50	0,75	0,50
⸗ ⸗ ⸗ 18 Stunden	4,50	4,75	7,25	6,25
⸗ ⸗ ⸗ 24 ⸗	4,00	3,75	5,50	5,25
⸗ ⸗ ⸗ 24 ⸗	3,00	3,00	3,50	4,00
⸗ ⸗ ⸗ 12 Tagen	18,00	19,00	27,50	26,00

der das Material ein noch feineres (0,01 Mm. Durchmesser) gewesen; während bei einem Durchmesser von 0,05—0,1 Mm. die Unterschiede noch ungefähr das Dreifache betrugen, gehen sie hier nicht über das 1,8fache hinaus und verschwinden auch viel früher, ungefähr nach 4 Stunden. Das spricht nun wieder dafür, dass die Porosität die mechanische Anordnung, kurz die physikalische Beschaffenheit die capillare Leitungsfähigkeit viel mächtiger zu beeinflussen vermag, als der verschiedene petrographische resp. mineralogische Charakter einer Gegend; aber insofern die verschiedenen petrographischen resp. mineralogischen Constituenten verschiedene mechanische Lagerung,

verschiedene Aneinanderlagerung und Zertrümmerung erleiden, kurz insofern sie den physikalischen Charakter des Bodens bedingen, insofern macht sich ihre grosse Bedeutung geltend, wie auch die Eingangs angeführte Tabelle Liebenberg's ergibt.

Klarer und anschaulicher liegen die Verhältnisse zu Tage bei Betrachtung des physikalischen Momentes. Auch hier haben wir, wenn wir von der Grösse der capillaren Leitung sprechen, selten erschöpfende Resultate zu registriren. Die Beobachtungen wurden so lange fortgesetzt, bis eben die Zunahme ziemlich gleichmässig zu einer minimalen geworden war.

Zu quantitativer Beurtheilung stellen wir die Versuche von Klenze mit Sandboden und Edler mit Diluviallehm zusammen mit den sogenannten feinsten Theilen aus dem Staube:

	Sandboden				
	I.	II.	III.	IV.	V.
Korngrösse (Durchmesser in Mm.)	< 6,75	< 4	< 2,5	< 0,74	< 0,3
Das Wasser war gestiegen um Cm. am ersten Tage	1,0	2,0	4,0	12,6	33,2
Das Wasser war gestiegen um Cm. am Schluss*) des Versuchs	2,0	3,5	4,9	16,0	38,2
	Diluviallehm				
Korngrösse (Durchmesser in Mm.)	1,0—0,5	0,5—0,25	0,1—0,05	0,01	
Das Wasser war gestiegen um Cm. am ersten Tage	6	16	56	11	
Das Wasser war gestiegen um Cm. am Schluss*) des Versuchs	10	27	70,5	97,25	

*) Bei Klenze am 8. Tage, bei Edler am 38. resp. 142. Tage.

Das Wasser wird, den physikalischen Gesetzen entsprechend, um so höher capillar gehoben, je feiner unter sonst gleichen Verhältnissen die Partikel desselben Bodens sind. Die Höhen, bis zu welchen das Wasser innerhalb 8 Tagen gehoben wurde, betrug bei dem Korn V (< 0,3 Mm.) das 20fache der bei Korn I (6,7 Mm.) erzielten. Es wird die Zunahme dieses Leitungsvermögens desto bedeutender sein, je kleiner das Korn und damit die Capillarräume werden, im Einklang mit den physikalischen Gesetzen, nach welchen die gehobenen Wassersäulen sich umgekehrt verhalten wie die Durchmesser der Röhren.

Wichtig ist auch für die in der Natur sich abspielenden Vorgänge das Verhalten des Bodens in den Versuchsröhren, wenn man die Quelle der Befeuchtung, die sich am unteren Ende der Röhren befindet, entfernt. Das Wasser steigt, wie Liebenberg[1]) beobachtet

1) Liebenberg l. c.

hat, auch dann noch auf, geht gegen die Oberfläche zu weiter, nur füllen sich hierbei die Capillaren nicht gänzlich mit Wasser, sondern nur ihre Wandsubstanz umkleidet sich mit einer Wasserschicht. Für die Frage der Feuchtigkeit der oberen Bodenschichten, des Wassergehalts der Bodenluft, der Verdunstung von Seite der Bodenoberfläche, ferner der directen Communication zwischen den einzelnen Bodenschichten, endlich für den capillaren Transport gewisser Bodenbeimengungen bis an die Oberfläche ist dieses Verhalten von grosser Bedeutung.

Anders ist jedoch das Verhalten, wenn wir die Geschwindigkeit ins Auge fassen, mit der das Aufsteigen erfolgt.

Um dies aus den Versuchen von Klenze und Edler zu ersehen, ist es nothwendig, den Gang der Wasserleitung zeitlich noch genauer zu verfolgen, nach kürzeren Intervallen. Wir wählen hierzu eine vergleichende Zusammenstellung der Versuche Edler's, die mit Diluviallehm angestellt wurden.

1	2	3	4	5
	Diluviallehm:			
	I.	II.	III.	IV.
Korngrösse:	1,0—05	0,5—0,25	0,1—0,05	0,01
Das Wasser war gestiegen nach 24 Stunden:	6 Cm.	16 Cm.	56 Cm.	11 Cm.
Zunahme nach weiteren 24 St.:	0,5 „	1,75 „	7,5 „	3,75 „
„ „ „ „	0,5 „	0,75 „	2,25 „	3,00 „
„ „ „ „	0,5 „	1,5 „	1,00 „	2,0 „
„ „ „ „	0,5 „	1,5 „	0,75 „	2,0 „
„ „ „ „	0,25 „	0,5 „	—	2,00 „
Wasserhöhe am Schlusse der Versuche:	10 „ (am 126. Tage)	27 „ (am 55. T.)	70,5 „ (am 38. T.)	97,25 „ (am 142. T.)

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass bis zu einer gewissen Grenze (Columne 2—4) das Leitungsvermögen auch seiner Geschwindigkeit nach mit der Capillarität, mit der Feinheit des Korns zunimmt. Die ursprüngliche Steighöhe und das Wachsen derselben in bestimmten Intervallen nimmt von Korn I—III zu. Anders ist dies bei Korn IV, einem Kornmaterial von 0,01 Mm. Durchmesser. Die Steighöhe ist hier in den ersten Tagen eine viel geringere als bei den zwei nächst grösseren Kornsorten und auch die Zunahme bleibt hinter der des nächst grösseren Korns zurück. Dies ändert sich aber rasch. Schon am dritten Tage ist die Zunahme grösser und bleibt es auch von da an, resp. wird relativ noch grösser, da bei den anderen Korngrössen die Zunahme eine immer geringere wird. So

zeigt das Korn III (0,1—0,05 Mm.) vom 27.—31., 31.—35., 35.—38. Tage eine Zunahme der Wasserhöhe von nur 0,25 Cm., das Korn IV (0,01 Mm.) dagegen von 3,25, 2,75, 2,00 Cm., also das 13—8fache der ersteren und so muss endlich der Fall eintreten, dass die Steighöhe dieser Kornsorte die der anderen weit übertrifft.

Die Ursache dieses Verhaltens liegt darin, dass bei dem Vorgange des Aufsteigens von Flüssigkeiten in Capillaren drei physikalische Vorgänge in wechselnd überwiegendem Einflusse zusammenwirken, — die durch die Capillarität hervorgebrachte Hebung des Wassers, die der Hebung des Wassers entgegenwirkende Schwere und der durch die Capillaren gegebene Widerstand. — In der ersten Zeit, unmittelbar nach dem Beginne des Versuchs, so lange die Schwere des aufsteigenden Wassers nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht, können die etwas weiteren Capillaren im Vortheil sein, da der Reibungswiderstand in ihnen ein viel geringerer ist. Tritt aber einmal die Schwerkraft des gehobenen Wassers in Action, so wird dieses bei den weiteren Capillaren, in denen ja die Wassersäulen eine grössere Basis, also auch ein grösseres Gewicht besitzen, eine viel grössere Beeinträchtigung herbeiführen, als bei den engeren und wird schliesslich auch den durch den geringen Reibungswiderstand hervorgebrachten Vortheil compensiren, so dass nun die in Folge der engeren Poren gesteigerte Capillaritätswirkung sich geltend macht.

Jedenfalls ist aber als ein wichtiges Resultat dieser Betrachtung im Auge zu behalten, dass die Schnelligkeit der capillaren Leitung nicht identisch ist mit der Capillarität im Allgemeinen, d. h. mit der Intensität des capillaren Leitungsvermögens, ja dass sie gerade bei jenen Bodenarten des feinsten Kornes, die das eminenteste capillare Leitungsvermögen für Wasser besitzen, in einem gewissen Gegensatze zu einander stehen.

Die Verhältnisse der capillaren Wasserleitung kommen zur Geltung, wenn es sich darum handeln wird, den Feuchtigkeitsgehalt eines Bodens zu beurtheilen, bei welchem es sich um einen in der Tiefe befindlichen Wasservorrath handelt. Die Hohlräume im Allgemeinen werden eine Bewegung des Wassers in horizontaler und bei Zunahme der Wassermenge auch in verticaler Richtung zulassen; die capillaren Räume werden aber diese Wassermenge auf weit grössere Strecken transportiren, diese Schwankungen besonders in verticaler Richtung nach viel entfernteren Regionen fortpflanzen, als dies direct durch das angesammelte Wasser geschehen kann; besonders wenn wir berücksichtigen, dass die Wasserleitung auch dann

noch erfolgt, wenn von unten her kein Wasser mehr nachrücken kann, wenn der Wasservorrath unten zu wirken aufgehört hat (S. 96). Es wird dann verständlich, dass zwei benachbarte Stellen, deren Bodenbeschaffenheit im Grossen und Ganzen ziemlich analog ist, doch durch gewisse Differenzen in der Lagerung, in der Grösse, Form und Mischung der Bodenbestandtheile nicht unwesentliche Verschiedenheiten in der Wasserleitung und damit in dem Wassergehalt zeigen können. Und wenn diese Wasserleitung schliesslich bis an die Oberfläche erfolgt, so wird hiermit auch die Verdunstung und damit wieder in reciproker Weise die Höhe der im Boden vorhandenen Wassersäule modificirt. (Vergl. Grundwasser.)

Es werden sich auf diesem Wege Vorgänge abspielen, die sich nicht auf den Wassergehalt des Bodens allein beziehen. In dem den Boden infiltrirenden Wasser, dem Grundwasser, das oft aus weit entfernten Gegenden, eventuell auch aus Gegenden mit etwas anderem geologischen Bau herbeiströmte, finden sich viele organische und unorganische Substanzen gelöst, oft auch körperliche Theile, suspendirter Organismen vertheilt, vorausgesetzt, dass die filtrirende Eigenschaft des Bodens dies zulässt. Ausserdem dringen von oben her Stoffe in den Boden ein, die in wechselnde Tiefe zwischen Oberfläche und Grundwasser gespült werden. Diese Substanzen gelangen nun entweder direct in Folge der capillaren Aufsaugung[1]) oder indirect, die gelösten durch Osmose, die Organismen vielleicht durch Eigenbewegungen, durch ihr Wachsthum in höhere Schichten, bis zu welchen das Wasser capillar aufsteigt, und umgekehrt werden durch das aufsteigende Wasser die Substanzen in den höheren Bodenschichten verdünnt, ausgelaugt, ändern überhaupt ihre Concentrationsverhältnisse, auch unter Mitwirkung der Verdunstung, oder treten in das Grundwasser über. Auch die Temperaturverhältnisse des Bodens werden, wie weiter unten gezeigt wird, durch den Wassergehalt wesentlich modificirt. Durch alle diese Momente werden aber gerade gewisse biologische Erscheinungen, die Entwicklung, die Lebensthätigkeit und die Vertheilung niedriger Organismen in eminenter Weise beeinflusst werden. (Vergl. Cap. IV und Theil II, Cap. 2.)

II. Die Leitung nach abwärts.

Der unbedeckte Boden hat auch häufig die Aufgabe, Wasser, Flüssigkeiten von oben nach abwärts zu leiten. Die Niederschläge,

---

1) Soyka, Experimentelles zur Theorie der Grundwasserschwankungen. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

die auf denselben auffallen, fliessen dort, wo ein geneigtes Terrain ist, zwar zum Theil oberflächlich ab, ein Theil jedoch dringt in den porösen Boden ein und wird eine, je nach den Umständen wechselnde Tiefe erreichen. Ferner gelangen reichlich Flüssigkeiten auf die Bodenoberfläche, die als Abfälle des menschlichen Haushalts, als Producte menschlichen und thierischen Stoffwechsels eine reiche Vegetation niedriger Organismen enthalten oder zum mindesten reichliches Nährmaterial für diese Lebewesen in sich tragen. Diese werden dort, wo ein für Flüssigkeiten durchgängiger Boden vorhanden ist, in diesen eindringen.

Das Wasser, das auf einen porösen Boden auffällt, wird, den Gesetzen der Schwere folgend, immer tiefer zu sinken suchen, so lange, bis es auf eine Schichte trifft, die für Wasser undurchlässig ist, wo dann eine horizontale Ausbreitung erfolgt. Ein Theil des Wassers wird jedoch vermöge der Wassercapacität des Bodens in demselben festgehalten, und erst der Ueberschuss von demselben wird zum Abfluss gelangen. Die Capillarität des Bodens wirkt also diesem Absinken des Wassers im Boden entgegen, modificirt sowohl die Qualität des Wassers, das nach unten hin abfliesst, als auch die Quantitäten, die bis an die tiefste Stelle gelangen. Wir werden bezüglich dieser Abwärtsbewegung zwei Fälle zu unterscheiden haben. Den einen Fall, bei welchem Wasser auf einen vollständig trockenen Boden auffällt und in denselben eindringt; den zweiten Fall, bei welchem der Boden seine Sättigungscapacität erreicht hat, und nun den Ueberschuss an die unteren Bodenschichten abgibt.

Im ersten Falle spielt die absolute Sättigungscapacität eine grosse Rolle, die einzelnen Bodenschichten, von oben nach abwärts gehend, müssen sich erst capillar mit Wasser sättigen; und insofern muss für die Quantitäten, die zum Abfluss gelangen, die absolute Wassercapacität ein directer Maassstab sein. Die Schnelligkeit, mit der diese Sättigung und Abwärtsbewegung erfolgt, wird wieder eine verschiedene sein, je nach der mineralogischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens.

Für die Art und Weise, in welcher sich der verschiedene mineralogische Charakter des Bodens geltend macht, gibt uns eine Zusammenstellung Orth's [1]) einigen Maassstab an die Hand. Die sichtbare Eindringungstiefe senkrecht nach unten betrug auf einen Theil Wasserhöhe, welcher auf den Boden gelangt, im Mittel

1) Orth in Eulenberg's Handbuch des öffentl. Gesundheitswesens. Artikel „Boden“.

bei	grobem Sand	mittelkörnigem Sand	feinem Sand	Flugsand	Lehmigem Sand humushaltig	Lehmigem Sand humusfrei
das	2 fache	11 fache	7 fache	3 fache	9 fache	13 fache

bei	Lehm	Lehmmergel	Schwarzerde	Löss	Thon	Kalkmergel
das	6 fache	8 fache	6 fache	7 fache	3 fache	4 fache

Wir haben aber hier wieder die Einschränkung zu machen, dass in diesem Befunde der Einfluss der physikalischen Momente nicht eliminirt ist.

Es werden diese durch den mineralogischen Charakter hervorgerufenen Differenzen bedingt sein durch die Adhäsion des Wassers an die Bodenbestandtheile, aber auch durch die Veränderungen, die die Bodenbestandtheile mitunter selbst durch das eindringende Wasser erleiden. Einzelne Materialien erfahren durch das Eindringen des Wassers gewisse Quellungserscheinungen. Diese Materialien (Thon, Torf, humöse Bestandtheile), die an und für sich schon porös sind, nehmen Wasser in sich auf, vergrössern hierdurch ihr Volumen und müssen demgemäss die zwischenliegenden Hohlräume verkleinern oder gar verschliessen. Dadurch wird ein zweifaches Hinderniss der Leitung nach abwärts gesetzt. Es wird Wasser in dem Material selbst zurückgehalten; es werden ferner die Hohlräume einen grösseren Widerstand bieten und eine grössere capillare Wirkung ausüben.

Viel deutlicher tritt wieder der Einfluss des physikalischen Charakters, des mechanischen Gefüges hervor. Derselbe war auch Gegenstand vielfacher experimenteller Untersuchung (Liebenberg, Klenze, Edler).

Nach Edler's (l. c.) an diluvialem Lehm von wechselnder Korngrösse angestellten Versuchen lief der Vorgang des Eindringens des Wassers in den Boden folgendermaassen ab:

Diluvialer Lehm

Korngrösse (Durchm. in Mm.)		1—0,5	0,25—0,1	0,1—0,05	unter 0,02
Das Wasser sank bis zur Tiefe von: in Stunden	— Minuten				
—	1	12,5 Cm.	5,5 Cm.	5,5 Cm.	0,5 Cm.
—	2	17 „	9,0 „	8 „	0,75 „
—	5	36 „	15,5 „	13 „	1,25 „
—	9	56 „	22,0 „	18,25 „	1,75 „
—	15		29,5 „	29 „	2,0 „
1	—		71 „	56 „	4 „

Die Abnahme der Leitung nach abwärts, entsprechend der Abnahme der Porengrösse, bezieht sich in diesem Falle in gleicher Weise auf die Schnelligkeit der Leitung, als auch auf die Menge des geleiteten Wassers. Es ist dies eine nothwendige Consequenz der physikalischen Eigenthümlichkeiten. Derselbe Factor, der die Capillarität und damit die absolute Wassercapacität erhöht, befördert auch die Reibung. Bei der Leitung nach oben führt dies zu entgegengesetzten Resultaten. Die durch die Enge der Poren erhöhte Capillarität compensirt viel länger die Schwerkraft, ist also für die Hebung des Wassers günstig. Behindernd für die Leitung des Wassers ist auch die in den Capillaren eingeschlossene Luft, da sie, besonders wenn sie zwischen zwei Wassersäulen eingesperrt ist, einen ausserordentlichen Widerstand für die Fortbewegung des Wassers abgibt. Es wird also der Abfluss nach der Tiefe um so langsamer erfolgen, je feinporiger der Boden, je feinkörniger das Material desselben ist.

Bei dem Umstand, dass vermöge der dem Boden eigenthümlichen Wassercapacität ein grosser Theil des Wassers auf seinem Wege nach abwärts zurückgehalten wird, ist es möglich, dass in einzelnen Fällen das Wasser gar nicht zum Abfluss, gar nicht bis zu jener undurchlässigen Schichte gelangt, auf der es zu einer horizontalen Ausbreitung desselben, zur Ansammlung von Grundwasser kommt. Es wird nämlich unter diesen Umständen nur so viel aus jeder Bodenschicht zum Abfluss in die Tiefe gelangen, als dies dem Ueberschusse über die die absolute oder kleinste Wassercapacität repräsentirende Wassermenge entspricht.

Ist nun die Wassermenge eine relativ geringe, die Bodensäule jedoch eine hohe und von grösserer absoluter Wassercapacität, so kann der Fall eintreten, dass die gesammte hindurchsickernde Wassermenge gerade oder nicht einmal hinreicht, um die Capillarräume zu füllen und also kein Ueberschuss vorhanden ist, der noch zum Abflusse in die Tiefe kam.

Wir können daraus, um einen concreten Fall zu veranschaulichen, erfahren, in welchem quantitativen Verhältniss Regenhöhe und durchlässiger Boden zu einander stehen müssen, damit noch etwas Wasser direct durch den Boden dem Grundwasser zufliesse, einen vollständig ausgetrockneten Boden vorausgesetzt. Hofmann (S. 79—80) hat im Leipziger Boden den Wassergehalt per Quadratmeter Grundfläche festgestellt, und zwar repräsentirt dieser gefundene Wassergehalt so ziemlich die absolute Wassercapacität des Bodens, da er in Schichten bestimmt wurde, die sich in ziem-

licher, verticaler Entfernung vom Grundwasser, d. h. von einer von unten her durchfeuchtenden Wasserquelle befanden. Diese Bodenschichten enthielten folgende Wassermengen:

	Schichtentiefe Meter	enthalten pro Quadratmeter Grundfläche
Ablagerungsplatz: Frankfurter Strasse .	0—3,0	1122 Krgm. Wasser
Ablagerungsplatz: Schleussiger Weg . .	0—2,5	797 „ „
Erdboden des Brunnenschachtes . . .	0—9,45.	1258 „ „
Friedhofsboden: Diluviallehm	0—3,00	726 } 1894 Kgrm. Wasser
Friedhofsboden: Diluvialsand	3—12,5	1168 }

Die Quantität von 1 Kgrm. Wasser pro Quadratmeter Bodenfläche entspricht der Regenhöhe von 1 Mm. Würde der Leipziger Boden vollständig ausgetrocknet sein, so würde z. B. am Schleussiger Weg, in der Bodenschichte von 2,5 Meter Tiefe eine Regenmenge von 797 Mm. vollständig aufgenommen werden, im Friedhofsboden bis zu einer Tiefe von 12,5 Meter 1894 Mm. Regen, ohne dass etwas von demselben zum Abfluss käme. Bis zu der Tiefe von 1 Meter enthält der Boden pro Quadratmeter Fläche an den Ablagerungsstellen 410 resp. 139 Kgrm. Wasser, auf dem Friedhofsgebiet 259 Kgrm. Wasser. Es kann also das während eines ganzen Jahres niederfallende Meteorwasser, 580 Mm., nach Abzug der Verdunstung (die circa 50—54 % beträgt) bereits von 1 Meter Boden festgehalten werden. Der stark wasserhaltende Boden der Frankfurter Strasse enthält in der oberen Schichte, bis 1,58 Meter, so viel Wasser, als die gesammten Niederschläge ausmachen, welche während eines Jahres unter Ausschluss jeder Verdunstung niederfallen [1]).

Es werden diese Verhältnisse bei Berücksichtigung des Zusammenhanges zwischen Grundwasser, Bodenfeuchtigkeit und atmosphärische Niederschläge, Theil II, Cap. II, noch weitere Besprechung finden müssen.

Durchlässigkeit des Bodens für Wasser.

Für die Bewegung des Wassers in jenen Fällen, wo die Wassercapacität des Bodens gesättigt ist und ein weiterer Ueberschuss von Wasser demselben zugesetzt wird, werden wir wohl den Ausdruck Durchlässigkeit des Bodens für Wasser acceptiren dürfen.

1) Hofmann, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv für Hygiene. I.

A. Mayer versteht hierunter die Filtrationsfähigkeit, namentlich der tieferen Bodenschichten, welche es verhindert, dass ein Boden sich über seine wasserhaltende Kraft, seine Wassercapacität hinaus mit Wasser sättigt.

Es wäre wichtig, jene Gesetze genau zu kennen, nach denen sich der Boden jenes Ueberschusses von Wasser, der ihm über seine capillare Sättigungscapacität hinaus zur Verfügung gestellt wird, entledigt, und wie also jene Wassermengen, die als Regen bei Ueberschwemmungen, Bewässerungen u. dergl. in den Boden dringen, dort weiter wandern und an tiefere Schichten oder an die Ansammlungen unterirdischen Wassers wieder abgegeben werden. Hier wird es sich vorerst darum handeln, ob wir es mit einem compacten, in grossen Lagern in Form von ausgebreiteten Felsen auftretenden Gesteine zu thun haben, welches für Wasser vollkommen undurchlässig ist, wie die Massengesteine, oder ob der Boden ein weniger fest verbundenes, verkettetes Conglomerat von Trümmern, Gesteinen, eine poröse Masse im Sinne der Bodenphysik darstellt.

Aber auch bei den compacten, den Massengesteinen finden sich Verhältnisse, unter denen eine Wasserführung stattfindet, wenn nämlich ein sonst wenig durchlassendes Gestein von zahlreichen verticalen Spalten oder Klüften oder auch von fortgesetzten Höhlungen so durchzogen ist, dass das Wasser in diesen Kanälen frei fortzufliessen vermag. Das auffallendste Beispiel einer solchen zerklüfteten Gesteinsart ist der Kalkstein des österreichischen Karstgebirges, welcher nicht durch seine Masse selbst, sondern nur vermöge der Klüfte, von welchen er durchsetzt ist, zu einem wasserführenden Gestein wird (vgl. S. 25).

Im Allgemeinen ist in derartigen Spalten und Klüften die Circulation sogar eine viel ungehindertere als in den Hohlräumen der Gesteinstrümmer, in welch letzteren sich das Wasser nicht etwa durch lange, zusammenhängende Kanäle fortbewegt, sondern sich durch ein unregelmässiges Netz von ebenso unregelmässigen, miteinander communicirenden Hohlräumen zwischen den einzelnen Trümmern oder Geröllen hindurchwinden, dabei einen langen Weg zurücklegen und eine viel grössere Reibung überwinden muss.

In der Durchlässigkeit der verschiedenen porösen Bodenarten für Wasser tritt uns aber eine, an den mineralogischen Charakter des Bodens sich knüpfende Eigenthümlichkeit entgegen, die ihre besondere Beachtung verdient und einen scheinbaren physikalischen Widerspruch enthält. Bodenarten nämlich, die an und für sich porös sind und auch im trockenen Zustande mitunter ein höchst bedeutendes,

capillares Wasserleitungsvermögen besitzen, entbehren der Fähigkeit, Wasser durch sich hindurchtreten zu lassen, auffallendes Wasser von ihrer unteren Fläche abzugeben, vollständig oder nahezu vollständig; sie werden, trotzdem sie im trockenen Zustande porös, oft sogar sehr porös sind, im nassen Zustande für Wasser vollständig undurchlässig.

Die vier Bodenarten, an denen Schwarz [1]) (S. 34) experimentirte, geben dieser Thatsache einen quantitativen Ausdruck. Es wurden bei denselben die Wassermengen bestimmt, die durch eine Bodenschicht von 10 Cm. Mächtigkeit, 10 □ Cm. Oberfläche bei gleich bleibendem Drucke innerhalb 24 Stunden hindurchflossen.

1	2 Porenvolumen	3 Capillare Sättigungscapacität in Procent des Bodenvolums	4 Wasserabgabe innerhalb 24 Stunden	5 Volumen von 100 Cbcm. trockenem Boden nach der Imbibition
	%	%	Cbcm.	%
Moorboden (82,26 % org. Subst.)	84	82,8	1	251,2
Alluvialsand (Quarzsand) . . .	39,4	34,9	5760	100
Lehm (Lösslehm)	45,1	43,2	1674	119,2
Thon (diluvial)	52,7	51,5	0,7	142,4

Der Vergleich dieser vier Bodenarten ergibt das wichtige Resultat, dass gerade jene beiden Bodenarten, deren Porenvolumen sowohl, als auch deren Sättigungscapacität sehr gross sind (Moorboden und Thon), in der Durchlässigkeit für Wasser am ungünstigsten sich verhalten. Ja, wir werden den Thon wohl mit Recht schon zu den für Wasser undurchlässigen Materialien zählen dürfen, trotzdem seine Permeabilität für Luft (S. 44) keine unbedeutende ist, besonders wenn er sich in einem Zustande der Krümelbildung befindet. In den Versuchen Seelheim's [2]) liess unter gleichen Umständen Kreide 2mal, Sand aber 3070mal soviel Wasser hindurchtreten als Thon.

Die Ursachen für dieses so vollkommen verschiedene Verhalten dieser zwei Bodenarten (Moor und Lehm) kann nun weder in dem Porenvolumen, noch in der Capillarität gelegen sein. Beim Moorboden, einem vorzüglich aus organischen Stoffen bestehenden Boden, spielt wohl die Hygroscopicität des Materials eine Rolle (100 Grm. Moorboden entnehmen innerhalb 70 Tage einer mit Wasserdampf

1) R. v. Schwarz l. c.

2) Seelheim, Archives néerlandaises de sciences exactes et naturelles. Tome XIV. p. 393, Naturforscher 1880, und Zeitschr. f. analyt. Chemie. 1880.

gesättigten Atmosphäre 21,6 Grm. Wasser) und ganz besonders das Quellungsvermögen, indem durch die hierdurch bewirkte Volumszunahme der einzelnen Körner die Hohlräume zwischen denselben verengt und verschlossen werden können. Die Zahlen in Columne 5 geben uns einen Maassstab zur Beurtheilung dieses Vorganges. Der Moorboden erlangt durch die Aufnahme von Wasser eine Volumsvermehrung um das 2½fache und auch der Thon nimmt durch Imbibition um nahezu das 1½fache an Volumen zu. Beim Thon ist es ferner die eigenthümliche Fähigkeit, unter Wasseraufnahme plastisch zu werden, eine Masse zu bilden, welche die eingeschlossenen Wassertheilchen mit solcher Energie festhält, dass es auch einem sehr bedeutenden hydrostatischen Drucke nicht gelingt, dieselben durch andere Wassertheilchen zu verdrängen. Welches die Ursachen sind, dass in diesem Falle die festgehaltenen Wassertheilchen nicht wie andere, capillar festgehaltene durch neue Wassertheilchen verdrängt werden können, die, wie man meinen sollte, ihre Stelle doch ebenso gut zu vertreten im Stande wären, ist unbekannt.

Seelheim (l. c.) macht die Durchlässigkeit des Thons von der mit ihm vermischten Wassermenge abhängig. Der Thon stellt nach ihm eine homogene, unfühlbar feine Substanz dar, welche aus einzelnen oder zu Gruppen vereinigten Molecülen besteht. In einer gleichmässigen Mischung von Thon und Wasser muss nun die Grösse der Thonmolecüle, sowie der mit Wasser gefüllten Zwischenräume überall als gleich angesehen werden. Die Grösse der capillaren Durchflussöffnungen muss nun der Menge des beigemischten Wassers, die Anzahl derselben der Menge des im Gemische enthaltenen Thones proportional sein und es nehmen bis zu einer gewissen Grenze die Quantitäten des durchfliessenden Wassers bei gleicher Thonmenge mit der im Thongemisch enthaltenen Wassermenge auch ab bis zu 0.

Es ist auf Grund dieses Verhaltens anzunehmen, dass, je reicher ein Boden an Thonsubstanzen ist, desto stärker diese den Durchgang des Wassers verhindernde Eigenschaft sich geltend machen wird (es sei hierbei auch auf die S. 44 erörterte Herabminderung der Permeabilität des Bodens für Luft durch beigemengte Thonsubstanzen aufmerksam gemacht). Die experimentellen Untersuchungen von Klenze[1]) und E. Wolff[2]) und Flügge[3]) bestätigen diese Annahme. Wolff fand bei sechs Bodenproben einen annähernden, umgekehrten Parallelismus zwischen Thongehalt und Durchlässigkeit für Wasser.

---

1) Klenze, Untersuchung über die capillare Wasserleitung im Boden und die capillare Sättigungscapacität für Wasser. Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1877.

2) E. Wolff l. c.

3) Flügge, Die Bedeutung von Trinkwasseruntersuchungen für die Hygiene. Zeitschr. f. Biologie. Bd. XIII. S. 465.

Die Durchlässigkeit wurde bestimmt, indem er eine Erdsäule von 16 Cm. Höhe in einen Zinkkasten von 16 Cm. Höhe mit trichterförmigem Ansatz einfüllte, dort mit Wasser gänzlich sättigte und sodann eine Wassermenge von 8 Cm. Höhe aufgoss, deren Durchsickern der Zeit nach er beobachtete.

Bodenart	Thongehalt des Bodens	Humus %	Zahl der Stunden, innerhalb deren der Durchtritt des Wassers erfolgte
1. Sehr feinkörniger, sandig-lehmiger Boden .	15,74 (100)	0,88	20,3 (100)
2. = = = =	15,96 (100)	1,40	25,8 (127)
3. Schwarzer, humöser, kalkiger Lehmsandboden	18,17 (115)	6,87	31,0 (152)
4. Sehr feinkörniger, sandig-lehmiger Boden .	25,93 (164)	0,92	75,8 (373)
5. Sehr thoniger Boden	42,56 (270)	0,66	133,0 (655)
6. Boden mit ziemlich viel thoniger Substanz	29,76 (189)	2,19	188,0 (926)

(Die eingeklammerten Zahlen geben die relativen Werthe an.)

Die Zeit, die das Wasser zum Durchsickern braucht, nimmt nun in der That mit zunehmendem Gehalte an Thon (und auch an Humus) zu, und zwar in weit grösserem Maasse, als der directen Vermehrung des Thongehalts entspricht.

Die in den Bodenarten 5 und 6 auftretende Abweichung von dem Parallelismus rührt bei 6 von dem grossen Humusgehalt der Bodenproben, bei 5 von dem grossen Reichthum an kohlensaurem Kalk (dem höchsten, 12,8 % gegen 2,28 % des Bodens 6) her, wodurch der Thon bereits einen mehr lössartigen Charakter erhält und demgemäss seine Plasticität eine geringere ist.

Dasselbe Verhalten geht aus den Zahlen Flügge's hervor. Derselbe bestimmte wieder die Wassermenge, die innerhalb einer bestimmten Zeit durch seine Versuchsobjecte — Thonrohre von 1 Meter Länge und 160 bis 170 Cm. Querschnitt im Lichten, in welchen künstlich zusammengesetzte Bodenproben fest eingestampft waren —, unter einer constanten Wasserschicht von 1 Cm. Höhe hindurchgegangen waren.

Erdsorten	Filtratmenge pro Min. Cbcm.
Reiner grober Kies	∞
Feinkörniger Sand I	103,0
= = II	87,3
Feinster Sand	25,7
3 Th. Sand I, 1 Th. Lehm	15,5
1 Th. Kies, 2 Th. Sand I, 1 Th. Lehm .	7,4
1 Th. Sand I, 1 Th. Lehm	2,1
Reiner Thon resp. Lehm	0

Wir werden aus diesem Verhalten die Mächtigkeit des Vorkommens von Thon in den kleineren Schichtgesteinen würdigen lernen.

Dort, wo er in weniger reiner Form als horizontales oder geneigtes Lager erscheint, werden wir in ihm eine Schichte sehen, welche zwar im Stande ist, Wasser aufzunehmen und festzuhalten, welche aber nicht die Fähigkeit besitzt, Wasser durch sich hindurchtreten zu lassen, Wasser an die unterhalb gelegenen Schichten abzugeben. Wir haben dann im Thon (im Tegel, Flinz u. s. w. s. S. 14) eine undurchlässige Schichte, die gerade in unseren Gegenden eine grosse Rolle spielt, indem sich auf ihr die groben alluvialen und diluvialen, für Wasser höchst durchlässigen Gerölle aufthürmen, die das Wasser bis an diese Thon- oder Lehmschichte hindurchtreten lassen, auf welcher es sich naturgemäss auch sammeln muss. Nur dürfen wir nicht von dem falschen Standpunkte ausgehen, dass, weil diese Schichte im feuchten Zustande für Wasser undurchlässig wird, sie auch stets dem Wasser gegenüber isolirend wirken muss.

Es wurde schon bei der allgemeinen Charakterisirung der petrographischen Bodenelemente hervorgehoben, dass Thon über 70 % Wasser aufnehmen kann und dieses sehr fest an sich hält. Dieses Festhalten des Wassers hindert nun nicht, dass bei inniger Berührung durch capillare Leitung Wasser aus dem Thon resp. Lehm auf andere poröse Körper übergeht. Man hat darauf besonders beim Häuserbau zu achten. Wo Häuser direct ohne Isolirung auf eine Lehmschicht aufgebaut oder an eine Lehmwand angebaut sind, dort werden die Wände, die ja eine überaus mächtige capillare Leitung haben müssen, stets feucht bleiben.

Der Einfluss der physikalischen Beschaffenheit, der Structur des Bodens, der Grösse der den Boden constituirenden Materialien, der Dichte ihrer Anlagerung wird sich auch in diesem Falle wieder geltend machen. Je kleiner die einzelnen Bodenbestandtheile, je kleiner demzufolge die Poren, desto geringer wird die Durchlässigkeit für Wasser; desto längere Zeit wird verfliessen, bis eine gewisse Menge Wassers den Boden verlässt. Es sei an einem Beispiel das Gewicht dieses Factors veranschaulicht. Aus Welitschkowsky's [1]) Versuchen lässt sich folgende Tabelle zusammenstellen.

Bei einer Schichthöhe des Bodens von 50 Cm. und einer constant erhaltenen Höhe der Wasserschichte über dem Boden von 20 Cm. war die per 1 Minute geförderte Wassermenge

1) Welitschkowsky, Experimentelle Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Wasser. Archiv f. Hygiene. II.

Bodenart	Korngrösse Durchmesser in Mm.	Poren-volumen %	Wasser-capacität %	Geförderte Wasser-menge Liter in 1 Minute
Feinsand	< 1/3	41,87	90,86	0,00014 (1)
Mittelsand	1/3—1	40,64	71,46	0,123 (878)
Grobsand	1—2	37,38	42,59	1,351 (9650)
Feinkies	2—4	45,47	19,37	7,463 (53307)
Mittelkies	4—7	35,93	13,44	12,872 (91943)

Die Schwankungen übertreffen in ihrer Amplitude noch die bei der Permeabilität des Bodens für Luft gefundenen.

Wenn wir die hier auseinandergesetzten Verhältnisse auf die Bodenbeschaffenheit im Allgemeinen übertragen, so erhalten wir nach Peters[1]) folgendes Bild über die Durchlässigkeitsverhältnisse der Erdoberfläche:

„Bezüglich der Massen, die ausgebreitete Ablagerungen bilden und in ihren Beziehungen zum strömenden Regen in Betracht kommen, dürfen wir im Allgemeinen behaupten, dass alle jene, die Thon sind oder sich dem plastischen Thon in ihrem Gefüge nähern, das an sie herandringende Wasser nicht hindurchlassen, am allerwenigsten in der Richtung normal auf ihre schichtenartige Ausbreitung. Werden sie entlang derselben getroffen, so sind sie um so weniger undurchlässig, je mehr sie eine blättrige Structur angenommen haben, sich der Gesteinsart nähern, die man schlechthin Schieferthon nennt. Ferner gehören hierher, insofern sie höchstens 5—10 % Regen durchlassen, verschiedene Felsarten, wie Granit, harter Sandstein, harter Kalkstein, Dolomit. Im völligen Gegensatz zu jenen sind Ablagerungen im höchsten Grade durchlässig, die aus Schutt oder Sand bestehen. Besitzen sie ein Bindemittel, sind sie also Conglomerate oder Sandsteine, so mindert sich ihre Durchlässigkeit in dem Maasse, als dieses Bindemittel von mehr oder weniger thoniger Natur ist. Folgerichtig sind jene Schichten, die eine sandig-thonige Beschaffenheit haben, im entsprechenden Grade für Wasser durchgängig, also auch jene Ablagerungen, die feine Sandkörnchen, Weichthierschälchen, unterbrochene Hohlräume von Wurzelfasern u. dgl. enthalten, also namentlich jene, welche man in den österreichischen und deutschen Beckenländern als Löss bezeichnet.“

Auch diese Eigenthümlichkeit des Bodens kann aber mit der Zeit gewisse Veränderungen erleiden. Dieselben Bedingungen, die aus einem aporösen Boden einen porösen schaffen, dieselben können

1) Peters, Die Methode der Geologie und deren Anwendung in der Praxis. Graz 1879.

einen undurchlässigen Boden in einen durchlässigen verwandeln. Es geschieht dies besonders durch Zertrümmerung, Ab- und Anschwemmung, besonders auch durch die Verwitterung (vergl. S. 17). Diese kann aber auch umgekehrt einen an und für sich durchlässigen Boden zu einem undurchlässigen gestalten. Ein Beispiel hierfür liefert die Umgebung von Wiener-Neustadt[1]).

Im nordöstlichen Ende der Alpen (südwestlich von Wien) finden sich Gesteine der Sandsteinzone, die an und für sich nicht geradezu als wasserdicht anzusehen sind, indem sie stets in Bänke zertheilt sind und längs ihrer Schichtflächen da und dort nicht unbeträchtliche Mengen von Wasser aufnehmen. Sie besitzen jedoch eine Eigenthümlichkeit, die der Sandsteinzone fast den Charakter einer Gegend mit wasserdichtem Boden gibt und die darin besteht, dass diese Gesteine eine bald mehr bald minder beträchtliche Menge von Eisenoxydul enthalten (das auch die blaue Färbung der Gesteine hervorruft), welches sich an der Luft in Eisenoxyd verwandelt, wobei die blaue Färbung des Steins allmählich in eine mehr oder weniger rothe oder gelbe übergeht. Durch diesen Verwitterungsprocess zerfällt der scheinbar sehr feste Stein in eine schlammige, gelbliche Masse mit eingestreuten Sandkörnern und Plättchen von weissem Glimmer, welche Masse als wasserdicht anzusehen ist und der Bodenlage auch diesen Charakter verleiht.

Die grössere oder geringere Durchlässigkeit des Bodens hat vom hygienischen Gesichtspunkt aus nach zwei Richtungen hin Interesse. Einmal gibt sie uns einen Fingerzeig darüber, in welcher Weise die durch Niederschläge hervorgerufenen Schwankungen in der Feuchtigkeit, dem Wassergehalt der oberen Bodenschichten sich ändern, wieder ausgleichen, oder doch längere Zeit bestehen bleiben (vergl. Grundwasser), sodann aber erfahren wir hierdurch, ob die dem Boden zugeführten Verunreinigungen in tiefere Schichten resp. bis zum Grundwassser gelangen und in welcher Zeit diese Wanderung erfolgt. Es wäre deshalb wichtig, die Wasserdurchlässigkeit verschiedener Bodenarten in natürlichem Zustande zu bestimmen.

Aus Anlass der Prüfung eines Wasserversorgungsprojects wurde auf der bayerischen Hochebene südöstlich von München, in Gleisenthal[2]), ein derartiger Versuch angestellt. Der durchlässige Boden besteht hier aus Gerölle, Kies, dem sog. Glacialschutt und aus diluvialer Nagelfluh. An einem Steinbruch, in welchem die Mächtigkeit der Schichten 9,5 Meter

1) Bericht der Wiener Wasserversorgungscommission.

2) IV. Bericht über die Verhandlungen und Arbeiten der vom Stadtmagistrat München niedergesetzten Commission für Wasserversorgung u. s. w. S. 76.

betrug und eine Unterhöhlung der tiefsten Lage geschaffen war, konnte der Vorgang des von oben niedergehenden Wassers auf das Genaueste beobachtet werden. Nachdem die oberste Lage der Pflanzenschicht abgehoben und nacktes Gestein aufgedeckt war, wurde in ein rings wasserdicht abgeschlossenes, unten offenes Bassin Wasser eingebracht, und nachdem die Schichten bis zur Unterhöhlung vom senkrecht niedersitzenden Wasser vollständig erfüllt waren, bei constant erhaltenem Wasserzufluss eine Lösung von gelbem Blutlaugensalz oben aufgegossen und das Erscheinen desselben in der Unterhöhlung genau bestimmt. Diese Reaction trat nach 3 Stunden 40 Minuten ein. Die Geschwindigkeit des vertical niedergehenden Wassers war mithin an dieser Stelle im Durchschnitt 23 Min. 9 Sec. für den Meter, wobei allerdings nicht berücksichtigt wurde, dass der Eintritt der Reaction vielleicht durch Diffusion beschleunigt werden könnte. Dabei muss bemerkt werden, dass die Rollstücke, die übereinander lagernden Bänke diluvialer Nagelfluh, nicht gleichmässig gebunden waren und dass festere und minder festere Geröllbänke miteinander wechselten, so dass der Niedergang des Wassers nicht als ein gleichmässiger angenommen werden kann.

An künstlichem Boden hat Hofmann[1]) mittelst eines sehr instructiven Versuchs gezeigt, wie die löslichen Stoffe, die von oben her in den Boden gelangen, mit dem auffallenden Wasser sich weiter gegen die Tiefe hin verbreiten.

Er füllte zwei je 1 Meter hohe Röhren mit Sand, Rohr I mit solchem von 0,5—1,0 Mm. Korndurchmesser, Rohr II mit solchem von 0,3—0,5 Mm. Rohr I enthielt 601 Cbcm. freies Porenvolumen mit einer absoluten Wassercapacität von 182 Grm. Wasser, Rohr II 615 Cbcm. Porenvolumen mit 309 Grm. Capillarwasser.

Von einer Lösung, welche in 100 Cbcm. Flüssigkeit 1,008 Grm. Kochsalz enthielt, wurden 50 Cbcm. = 0,504 Grm. Kochsalz in langsamem Strahle auf jedes der beiden Bodenröhren aufgeträufelt, so dass sich die obere Fläche möglichst gleichmässig wie bei einem Regen benetzte.

Die folgenden Tage hindurch, nachdem das Kochsalz aufgegeben war, wurde dann stets in Fristen von je 24 Stunden die gleiche Menge destillirtes Wasser (50 Cbcm.) aufgegossen, die Abflussmenge täglich gewogen und die in ihr vorhandene Kochsalzmenge bestimmt.

Die Vorgänge entsprachen also den Verhältnissen, dass auf die reine, 1 Meter mächtige Bodenlage eine einmalige Verunreinigung kam und dann durch täglich gleich grosse Regenmengen in die Tiefe gespült wurde.

Es geht aus diesen Versuchen zuvörderst hervor, wie verschieden sich das Eindringen der Bodenverunreinigung in die Tiefe gestaltet, je nach der physikalischen resp. mechanischen Beschaffenheit derselben.

Die beiden Versuchsboden haben das gleiche Porenvolumen von 601 und 613 Cbcm. Volumen, dieselbe Schichtenhöhe; die in gleicher Menge und Concentration aufgebrachte Verunreinigung

1) Hofmann, Eindringen von Verunreinigungen in Boden und Grundwasser. Archiv f. Hygiene. II.

Versuchstag	Aufgegossen	Aus Sand I abgeflossen			Aus Sand II abgeflossen		
		Flüssigkeit Grm.	100 Cbcm. Ausfluss = Mgrm. ClNa	Ausgespülte ClNa-Menge = Mgrm.	Flüssigkeit Grm.	100 Cbcm. Ausfluss = Mgrm. ClNa	Ausgespülte ClNa-Menge = Mgrm.
1	50 Cbcm. mit ClNa 0,504 Grm.	49,5	0	0	48,3	0	0
2	50 Cbcm. destillirtes Wasser	47,1	51	24	46,0	0	0
3	50 " " "	44,8	402	180	48,8	0	0
4	50 " " "	47,8	243	116	47,5	0	0
5	50 " " "	50,2	171	86	50,0	0	0
6	50 " " "	43,6	162	71	47,7	143	69
7	50 " " "	49,2	45	22	48,9	402	197
8	50 " " "	48,4	12	6	45,4	357	162
9	50 " " "	48,3	7	3	46,7	147	69
10	50 " " "	47,4	2	1	46,4	11	5
11	50 " " "	47,6	0	0	46,5	0	0
12	50 Cbcm. mit ClNa 0,504 Grm.	44,9	0	0	42,8	0	0
13	50 Cbcm. destillirtes Wasser	46,9	47	22	44,7	0	0
14	50 " " "	48,4	363	176	44,6	0	0
15	50 " " "	46,4	255	119	44,7	0	0
16	50 " " "	42,6	189	80	43,0	0	0
17	50 " " "	46,7	139	65	42,8	78	33
18	50 " " "	49,1	54	26	46,2	393	181
19	50 " " "	47,6	18	9	46,5	432	201
20	50 " " "	47,6	6	3	45,6	162	74
21	50 " " "	47,2	2	1	44,6	32	11
22	50 " " "	47,5	0	0	43,7	0	0

wird durch die gleichen Wassermengen in die Tiefe geführt, und trotzdem bestehen quantitativ und zeitlich die grössten Unterschiede, welche nur von der Art und der Weite der Bodenhohlräume bedingt sind.

Die Verunreinigung gelangt in dem grobporösen Boden schneller in die Tiefe, als im feinporösen, und dazu in einem verdünnteren Zustande, die Gesammtmenge der Stoffe des Kochsalzes vertheilte sich bei I auf 450 Cbcm. Flüssigkeit, bei II auf nur 250 Cbcm., die Boden- resp. Wasserverunreinigung erreicht also einen geringeren Grad, während im feinporösen an Capillaren reichen Boden die Beimengungen beim Transport durch das Wasser nur langsam, Schichte für Schichte tiefer gelangen, unter auffallend geringer Vermischung mit dem schon vorhandenen Bodenwasser, so dass in einer Bodensäule in senkrechter Richtung reine und verunreinigte Schichten mit einander abwechseln können. Aus den angeführten Versuchsresultaten bestimmte Hofmann den zeitlichen Vorgang des Eindringens von Stoffen in die tieferen Bodenschichten, wie das mit Hilfe der meteorischen Niederschläge erfolgt.

IX. Boden und Wasserdampf.

Bei den Beziehungen zwischen Boden und Wasser sind noch jene Vorgänge zu berücksichtigen, bei denen das Wasser in gasförmigem Zustande auftritt. Wir werden zu diesem Behufe die Frage nach dem Wassergehalte der Bodenluft zu stellen haben, sodann nach dem Absorptions- und Condensationsvermögen des Bodens für Wasserdampf und endlich nach der Eigenschaft des Bodens, Wasser in gasförmigem Zustande an die Luft treten und verdunsten zu lassen.

1. Wassergehalt der Bodenluft.

Der Wassergehalt der Bodenluft[1]) wird sich darnach richten, ob die Bodencapillaren Wasser enthalten, ob ferner in den nicht capillaren Räumen Wasser an den Bodenfragmenten adhärirt. Ist dies der Fall, d. h. ist der Boden feucht, so ist a priori anzunehmen, dass die Bodenluft sich mit Feuchtigkeit sättigt. Die Wassermassen, die in Folge der Capillarität und Adhäsion dem Boden anhaften, werden eine stetige Verdunstung unterhalten, die bei der grossen Flächenausbreitung mächtig genug ist, um die vorhandene Bodenluft entsprechend ihrer jeweiligen Temperatur mit Wasserdampf zu sättigen. Es ist hierbei gar nicht nöthig, dass die Erfüllung der Capillaren mit Wasser eine derartige ist, dass der Grad der absoluten oder kleinsten Wassercapacität erreicht ist. Nach Versuchen von Pfeiffer[2]), Fodor[3]) erwies sich die Bodenatmosphäre noch mit Feuchtigkeit übersättigt, selbst nachdem der Boden (trockener Gartenkies) zwei Wochen hindurch nicht befeuchtet und scheinbar völlig ausgetrocknet war.

Dieser scheinbare Widerspruch findet seine Erklärung, wenn man sich der Thatsache erinnert, dass das im Boden capillar aufgestiegene Wasser die Tendenz besitzt, immer höher anzusteigen, wie dies aus den Versuchen Liebenberg's (S. 96) hervorgeht, wenn nur Differenzen in dem Feuchtigkeitsgehalt der Bodenschichten vorhanden sind, die zu Ungunsten der oberen Bodenschichten ausschlagen. Es wird also die Luft nicht blos dort, wo sie unmittelbar mit dem in die Tiefe versunkenen Wasser (Grundwasser) in Berührung steht, Gelegenheit zur Wasseraufnahme haben, sondern überall, wohin die

1) Vgl. Fleck, Jahresberichte der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. II. III. IV. V.

2) Pfeiffer, Zeitschrift für Biologie. IX.

3) Fodor, Experimentelle Untersuchungen über Boden und Bodengase. Deutsche Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. VII.

capillare Leitung des Wassers führt, welche beständige Wanderung des Wassers nach oben noch begünstigt wird durch die von der Oberfläche her stattfindende Verdunstung.

Anders gestalten sich natürlich die Verhältnisse, wenn eine vollständige Austrocknung des Bodens stattfindet. Diese ist jedoch nur möglich, wenn weder in der Tiefe des Bodens sich Wasseransammlungen finden, noch auch die atmosphärische Luft Wasserdampf in erheblicher Menge enthält.

Mit diesem grossen Gehalt der Bodenluft an Wasserdampf steht auch eine Erklärung der Thaubildung im Zusammenhange. Die dem Boden entströmende Luft muss, wenn sie an Körper gelangt, die in Folge nächtlicher Ausstrahlung eine niedrigere Temperatur haben, ihren Wasserdampf in Form von Thau niederschlagen. Dass ein solches Aufsteigen der feuchten Bodenluft und eine Condensation des Wasserdampfes, nach MOSER auch in den obersten Bodenschichten selbst, erfolgt, ist durch Versuche von CHRISTONI[1]) wahrscheinlich gemacht, bei denen an der unteren Fläche von horizontal und frei aufgestellten Platten sich die grösste Wasseransammlung findet. Man hat vielleicht Grund hier an gewisse epidemiologische Thatsachen zu denken, bei denen gerade der Nachtluft eine grosse Rolle zugewiesen wird. Jedenfalls ist es möglich, dass Pilze, die in den untersten Luftschichten suspendirt sind, mit den Thautropfen an festen Körpern niedergeschlagen und so vielleicht weiter verbreitet werden.

2. Absorption und Condensation von Wasserdampf im Boden.

BABO[2]) hat durch Versuche nachgewiesen, dass der bei 35 bis 40 ⁰ C. ausgetrocknete Boden in der Stärke seiner den Wasserdampf der Luft an sich ziehenden Kraft sich verhalte wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium (freilich hat sich in jüngster Zeit gezeigt, dass die wasserentziehende Kraft des Chlorcalcium doch weit geringer ist, als die der Schwefelsäure). Der vollkommen ausgetrocknete Boden wird also einer auch nicht völlig mit Wasserdampf gesättigten Luft unter Temperaturerhöhung Wasser entziehen bis zur Herstellung eines gewissen Gleichgewichtszustandes. Auch diese Funktion des Bodens ist wieder von seinen physikalisch-mechanischen und mineralogischen Eigenthümlichkeiten abhängig.

SCHÜBLER fand bei seinen Versuchen bei einer Temperatur von 12—15 ⁰ folgende Reihenfolge:

---

1) Naturforscher. 1881. S. 425.

2) Journal für praktische Chemie. 1872. S. 237.

Erdarten	1000 Grm. Erde, auf eine Fläche von 50 □″ verbreitet, absorbiren in 24 St.	Erdarten	1000 Grm. Erde, auf eine Fläche von 50 □″ verbreitet, absorbiren in 24 St.
Quarzsand	0 Grm.	Feine Kalkerde . .	35 Grm.
Gypserde	1 „	Kleiartiger Thon .	41 „
Kalksand	3 „	Grauer reiner Thon	49 „
Ackererde	23 „	Gartenerde . . .	52 „
Lettenartiger Thon .	28 „	Feine Bittererde . .	82 „
Schieferiger Mergel .	33 „	Humus	120 „
Lehmartiger Thon .	35 „		

Die bei wechselnden Temperaturen und möglichst gleichem Korn angestellten Versuche Ammon's [1]) geben eine Reihenfolge, von Quarz, dem niedrigsten Absorptionsvermögen beginnend, zum Kalk, Kaolin, Humus und Eisenoxydhydrat, und sind auch in Uebereinstimmung mit den Versuchen von Knop, die das geringe Condensationsvermögen einer sandhaltigen Ackererde, das grosse eines humösen Bodens, wie der russischen Schwarzerde ersichtlich machen.

Das grosse Absorptionsvermögen des Humus der Ackererde lässt erkennen, dass die organischen Substanzen von grösserem Einflusse sind, was bei der Hygroskopicität derselben auch selbstverständlich ist.

Wieder ist in erster Linie die Grösse der Hohlräume, der Grad der Porosität von Einfluss. Je kleiner das Korn und je feiner vertheilt die Masse, demzufolge auch je kleiner die Hohlräume, desto grösser die Gesammtoberfläche des Korns (S. 76) und damit die Absorption des Wasserdampfs. Die Versuche, die auf diesen Punkt gerichtet waren, von Davy, Knop, Babo, Schübler, v. Ammon und Anderen, leiden nur an dem Uebelstande, dass nicht reines Wassergas, sondern mit Wassergas gesättigte Luft zur Anwendung kam und so gleichzeitig Absorption von Sauerstoff und Stickstoff eintreten konnte. Doch ergaben sich beim Vergleiche grosse Differenzen. In den Versuchen von Ammon beträgt die Absorption des Bodens, dessen Korndurchmesser unter 0,2 Mm. beträgt, mehr als das 9fache derjenigen Menge, die bei einem Korndurchmesser von 1,80—2,50 absorbirt wird. Da sich ferner das Absorptionsvermögen des Bodens für Gase nach den für die Absorption der Gase im Allgemeinen giltigen physikalischen Gesetzen richten muss, so wird die Menge des absorbirten Wasserdampfes innerhalb bestimmter Grenzen mit der Temperatur abnehmen müssen.

1) G. Ammon, Untersuchungen über das Condensationsvermögen der Bodenconstituenten für Gase. Daselbst auch die Literatur: Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. II.

Die Folgen dieser Erscheinungen werden sich darin äussern, dass ein Boden in unserer Gegend wohl nie vollständig austrocknen kann, so lange es entweder die Wasseransammlungen in der Tiefe sind, die hier mitwirken, indem sie die Luft mit Feuchtigkeit beladen resp. sättigen und so zur Absorption des Wasserdampfes von Seite der oberflächlichen Bodenschichten beitragen, oder die atmosphärische Luft, die ihre Feuchtigkeit dem Boden abgibt. Freilich muss auch der umgekehrte Fall eintreten können, dass nämlich ein Boden, der eine gewisse Wassermenge in sich absorbirt enthält, dieses wieder abgibt, sei es in Folge von Temperaturerhöhung (die grössten Wassermengen werden bei einer Temperatur von 0—10° C. absorbirt) oder in Folge grösserer Trockenheit der Luft. Es existiren keine Untersuchungen darüber, wie sich die Absorption und Abgabe von Wasserdampf bei verschiedenen Graden der Sättigung der Luft mit Wasserdampf, also bei verschiedener relativer Feuchtigkeit verhalten wird und ob hierfür jene Gesetze massgebend sind, die für die organischen und hygroskopischen Stoffkörper gefunden wurden. Bei diesen hängt die Dicke der Wasserschicht, die an einer Fläche sich ansetzt, ab von der zur Verdunstung einwirkenden Verdampfungskraft, d. i. dem Ueberschuss des Druckes der von der Temperatur bestimmten Sättigung über den vorhandenen Dampfdruck der Luft, welcher entgegen der Adhäsion die oberflächlichen Wassertheilchen mit einer von der Dicke dieser Schichte abhängigen Stärke zurückhält. (Mousson.)

Zu beachten ist bei diesen Vorgängen, dass mit einer derartigen Wasseraufnahme auch stets eine gewisse Volumenvermehrung einhergeht, wodurch sich auch Verschiebungen, Bewegungen der Gesteine und Gesteinstrümmer, wenn auch nur minimaler Grösse ergeben, die aber doch zur Lockerung, Abbröckelung und analogen Erscheinungen führen können. Ausserdem muss aber in einem derartigen Processe der Wasseraufnahme und -Abgabe eine Quelle steter Bewegung der Luft im Boden liegen. Indem die Bodenluft durch den Boden Wasserdampf verliert oder aufnimmt, ändert sich ihr specifisches Gewicht, ihre Spannung gegenüber der Luft anderer Schichten. Ebenso muss aber auch die durch die Wasserabsorption hervorgerufene Temperatursteigerung und umgekehrt eine Aenderung in dem Gleichgewichte der Luftschichten im Boden eintreten machen.

Im Allgemeinen werden diese Vorgänge in unseren Gegenden jedoch von keiner grossen Bedeutung sein, hauptsächlich deshalb, weil unsere Böden stets theils von unten her, theils in Folge der Niederschläge von oben her eine solche Menge von Feuchtigkeit

zugeführt erhalten, dass sich stets eine gewisse hygroskopische Sättigung des Bodens einstellen wird, besonders in etwas tieferen Schichten. Keineswegs wird es sich hierbei um eine nennenswerthe Absorption des Wasserdampfes aus der atmosphärischen Luft handeln.

Verschieden von diesen Erscheinungen der Absorption, oder, wie dieser Vorgang auch genannt wird, der Condensation von Wasserdampf ist jene Erscheinung, bei der die in den Boden eintretende, mit Wasserdampf erfüllte Luft in Folge von Temperaturdifferenzen an den kühleren Boden ihr Wasser abgibt, niederschlägt, condensirt, also eine Condensation im eigentlichen Sinne des Wortes.

Dieser Vorgang ist nur möglich, wenn wirklich im Boden eine niedrigere Temperatur herrscht, als sie die atmosphärische Luft besitzt, wenn ferner Luft in bedeutenderem Maasse in den Boden gelangt, wenn schliesslich diese Luft einen relativ hohen Feuchtigkeitsgehalt besitzt.

Wir werden auf diesen Gegenstand bei Besprechung der Bodentemperaturen Theil I, Cap. IV, sowie bei der Entstehung der Quellen und des Grundwassers (Theil II, Cap. II) zurückkommen müssen[1]).

3. Verdunstung aus dem Boden.

Der Boden als hygroskopischer und wasserleitender Körper gibt aber auch Wasser an seine Umgebung, speciell an die atmosphärische Luft ab. Haben wir einen Boden, der derart benetzt ist, dass das der jeweiligen Bodentemperatur und dem jeweiligen Feuchtigkeitsgrade der Luft entsprechende Absorptionsvermögen des Bodens übersättigt ist, so wird er an die ihn umgebende Luft Wasser abgeben. Es erfolgt Verdunstung. Diese Verdunstung wird am mächtigsten

1) Folgende kleine Tabelle, ein Auszug einer grösseren von mir berechneten Zusammenstellung (Soyka, Untersuchungen zur Canalisation. München 1885. S. 95 u. 96), gibt einen Maassstab für die durch Aufnahme von Wasserdampf bedingten Aenderungen des specifischen Gewichtes der Luft:

Temperatur	Gewicht eines Cubikmeters Luft in Kilogramm			Specifisches Gewicht		
	trocken	mit 50% relativer Feuchtigkeit	mit Wasserdampf gesättigt	der trockenen Luft	der Luft von 50% relativer Feuchtigkeit	der mit Wasserdampf gesättigten Luft
— 10° C.	1,3421	1,3416	1,3409	1,0380	1,0371	1,0369
± 0	1,2932	1,2917	1,2902	1,0000	0,9988	0,9977
+ 10	1,2472	1,2446	1,2419	0,9646	0,9625	0,9603
+ 20	1,2046	1,1998	1,1946	0,9317	0,9278	0,9239
+ 30	1,1648	1,1561	1,1470	0,9009	0,8940	0,8866

sein an der Oberfläche, da hier eine grosse Luftmasse mit dem Boden in Berührung steht, die viel Wasserdampf in sich aufzunehmen vermag und die bei der ununterbrochenen Luftbewegung im Freien sich fortwährend erneuert. Indem aber die oberflächlichsten Bodenschichten austrocknen, wird das Gleichgewicht in der Bodenluft gestört, denn mit der Verminderung des Wassergehalts ändert sich das specifische Gewicht der Luft, es vergrössert sich in etwas, wenn auch nur sehr gering. Es werden in Folge dessen Luftströmungen und Diffusionsvorgänge eintreten, die die mit Wasser gesättigte Bodenluft wieder bis in die oberflächlichsten Schichten hinaufführen. Ausserdem aber ändert sich durch die Austrocknung der obersten Bodenschichten der Gehalt an capillar festgehaltenem Wasser, so dass wieder ein capillares Nachsteigen des Wassers aus dem Boden erfolgt.

Folgende Factoren, die ihren Einfluss auf die Menge des verdunstenden Wassers und die Schnelligkeit, mit der der Vorgang sich vollzieht, geltend machen, verdienen grössere Berücksichtigung: 1. der Wassergehalt des Bodens, 2. die Höhe der Bodenschicht, 3. die Bodenzusammensetzung, 4. die Structur des Bodens, 5. die Oberflächenbeschaffenheit und Bodenbedeckung[1]).

Dass die Verhältnisse der Atmosphäre mit Rücksicht auf Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt, Luftbewegung u. s. w. gleichfalls eine wesentliche Rolle spielen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Sie können hier, wo es sich nur um die in den Bodenconstituenten gelegenen Bedingungen handelt, keine Berücksichtigung finden; sie finden jedoch in dem zweiten Theile, bei Besprechung der Grundwasserschwankungen, ihre Würdigung.

1. Manche Erscheinungen bei der Verdunstung des Bodens werden erst verständlich, wenn wir den jeweilig vorhandenen Wassergehalt des Bodens in Berücksichtigung ziehen. Der Boden verdunstet, die Menge des verdunstenden Wassers auf die Oberfläche bezogen, um so grössere Mengen, je mehr Wasser er enthält, und um so geringere Mengen je trockener er ist, je mehr er sich jenem Zustande nähert, in welchem er selbst Wasser absorbirt, so dass schliesslich Bodenproben von sehr verschiedenem Wassergehalt in der gleichen Zeit ihr Wasser verlieren. Dieser Einfluss des Wassergehalts geht sogar so weit, dass er die durch die anderweitigen Factoren bedingten Unterschiede verschwinden macht. Im gesättigten, nassen

---

1) Vgl. C. Eser, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Verdunstungsvermögen. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII. Diese Abhandlung enthält auch die einschlägige Literatur.

Zustande (Grundwasser) verdunsten die Boden von verschiedener physikalischer oder mineralogischer Beschaffenheit beinahe gleiche Wassermengen. Es verschwinden dann also die Unterschiede, die in der Capillarität, in der Gesammtoberfläche der Bodenpartikel gelegen sind. Es hängt diese Eigenthümlichkeit mit der capillaren Leitungsfähigkeit des Bodens zusammen. Wohl ist durch Liebenberg (S. 96) nachgewiesen worden, dass in einem Boden, in welchem Wasser capillar von unten aufgestiegen war, auch nach Hinwegnahme dieser unteren Wasserschichten ein weiteres capillares Aufsteigen des Wassers erfolgt, andererseits aber zeigten Schuhmacher[1]) und Eser[2]), dass, wenn auf eine, capillar gehobenes Wasser enthaltende Bodenschichte eine zweite, trockene aufgelagert wird, nur dann eine capillare Wasserbewegung in diese hinein eintritt, wenn die feuchte Erde eine grössere Menge Wassers enthält, nach Eser mehr als die Hälfte derjenigen Menge, die der Sättigungscapacität entspricht.

Je geringer der Wassergehalt eines Bodens ist, desto mehr wird dann das capillare Aufsteigen des Wassers, das zum Ersatz des verdunstenden Wassers dient, erschwert; die oberflächlichste Schichte des Bodens trocknet endlich vollständig aus, und die eigentliche Verdunstungsschichte sinkt in das Innere des Bodens zurück, der directe Einfluss der meteorologischen Elemente auf die Verdunstung wird beseitigt und die Wasserabgabe kann nunmehr nur durch Austritt von Wasserdampf aus dem Bodeninnern erfolgen.

2. Aus demselben Grunde muss die Verdunstung des Wassers aus dem Boden in dem Maasse abnehmen, als die Verdunstungsschicht in Folge von Austrocknung oder Auflagerung tiefer in den Boden herabsinkt, für die Wasseröconomie des Bodens ist dies von grosser Bedeutung; in trockenen Zeitperioden kann dadurch eine vollständige oder auch eine bedeutendere Austrocknung tieferer Bodenschichten hintangehalten werden; und so erklärt sich auch die Thatsache, dass selbst nach grosser Dürre in manchen Gegenden schon in relativ geringer Tiefe wieder capillar gebundenes Wasser zu Tage tritt.

Haben wir es mit einem Boden zu thun, der nicht blos feucht ist, sondern auch in seinen untersten Schichten eine grosse Wasseransammlung (Grundwasser) führt, so ist, bei gleichem capillaren Leitungsvermögen, die Verdunstung um so geringer, je höher die Bodenschichten, d. h. der Abstand zwischen dem Niveau des stehen-

---

1) Schuhmacher, Physik des Bodens. Berlin 1864. 2) Eser l. c.

den Bodenwassers (Grundwassers) und dem des Bodens ist, wobei die Unterschiede um so grösser sein werden, je geringer das capillare Leitungsvermögen des Bodens ist, und um so geringer, je grösser dasselbe ist. Es findet dies seine natürliche Erklärung darin, dass bei einem schwachen capillaren Leitungsvermögen die oberen Schichten der höheren Bodensäulen sehr wasserarm sein werden und dadurch also bereits eine grosse Einbusse in ihrem Verdunstungsvermögen erleiden; dass ausserdem das Wasser nur sehr langsam zum Ersatz und zur weiteren Verdunstung nachrückt.

3. Die Differenzen in der Verdunstungsgrösse der verschiedenen Bodenarten machen sich nach dem Vorausgeschickten nur dann geltend, wenn der Boden nicht vollständig mit Wasser erfüllt ist, also nur feucht ist. Aus den Versuchen Eser's liess sich folgende Reihenfolge feststellen (die Versuche beziehen sich auf einen Boden, dessen kleinste Wassercapacität gesättigt ist, und als Vergleichsobject wurde die innerhalb einer bestimmten Zeit von einer bestimmten Bodenoberfläche verdunstende Wassermenge gewählt): Am grössten war die Verdunstung bei Torf, dann folgte Erde (humöser Kalksand), sodann Lehm, Kalksand und Quarzsand. (Masure[1]) fand folgende absteigende Reihenfolge: Thon, Dünger, Kalk, Gartenerde, Sand.) Beachtenswerth ist die Thatsache, dass die Verdunstungsgrösse um so grösser ist, je grösser der Gehalt des Bodens an organischen Substanzen ist. Auf S. 80 ist betont worden, dass der an organischen Substanzen reiche Boden auch wieder ein grosses Wasserfassungsvermögen besitzt. Es sind also in diesem Boden gerade jene Bedingungen, die zu grösseren Schwankungen im Wassergehalt führen, im reichsten Maasse vorhanden; wenn diese Schwankungen in hygienischer resp. epidemiologischer Beziehung ihre grosse Bedeutung haben, so wird auf diese Weise der hygienische Einfluss der Bodenverunreinigung etwas aufgeklärt. (Torf verdunstete unter denselben Verhältnissen um 58 % mehr als Quarzsand.)

4. Die physikalische Structur des Bodens macht sich in ihrem Einflusse schon dadurch geltend, dass von ihr die Grösse der verdunstenden Oberfläche abhängig ist (vgl. S. 76); je grösser diese, um so ergiebiger die Wasserabgabe an die Atmosphäre, dass ferner das capillare Wasserleitungsvermögen des Bodens mit ihr verbunden ist; deshalb nimmt mit der Feinheit der Bodenpartikelchen im Allgemeinen die Verdunstung zu.

---

1) Masure, Annales agronomiques. VIII. 1882.

Eser's Versuche mit Quarzsand von verschiedenem Korn ergaben folgende Werthe:

Verdunstungsmengen pro 1000 □ Cm. Oberfläche in Grammen innerhalb 12 Tagen.

Nummer . . .	I.	II.	III.	IV.
Korngrösse in Mm.	0,0—0,071	0,071—0,114	0,174—0,171	0,171—0,25
Verdunstungsmenge	3428	3588	3339	3249
Nummer . . .	V.	VI.	VII.	VIII.
Korngrösse in Mm.	0,25—0,5	0,5—1,0	1,0—20,0	Gemisch
Verdunstungsmenge	2865	2551	1259	2219

Das Maximum der Verdunstung tritt in diesen, wie in den Versuchen Johnson's[1]), bei einer bestimmten Korngrösse ein, und nimmt von da an nach beiden Seiten hin ab. Nicht das feinste Korn I zeigte die grösste Verdunstungsmenge, sondern das zweitfeinste. Dass die mit der Abnahme der Korngrösse einhergehende Steigerung der Verdunstung nur bis zu einer gewissen Grenze anhält, wird wohl mit der Capillarität des Bodens im Zusammenhange stehen; auch dort (S. 97) haben wir beobachtet, dass die Schnelligkeit und Grösse der capillaren Wasserleitung nur bis zu einer gewissen Grenze mit der Feinheit des Korns zunimmt.

5. Sehr wesentlich kann der Einfluss der Bedeckung des Bodens werden. Im Allgemeinen vermindert eine Bedeckung des Bodens mit irgend einem (leblosen) Material die Verdunstung (Nessler, Ebermayer), da dadurch die verdunstende Oberfläche verkleinert, die directe Einwirkung der äusseren Verdunstungsfactoren vermindert wird. Diese verdunstungshemmende Wirkung des deckenden Materials äussert sich verschieden, weniger nach der chemischen Beschaffenheit des deckenden Materials, als nach der Höhe der Deckschicht und nach der physikalischen Structur. Beide Vorgänge stehen übrigens in einer gewissen Wechselbeziehung. Die Versuche Wollny's[2]) ergeben, dass durch Auflagerung einer lockeren Bodendecke die gesammte Wasserverdunstung aus dem Boden stärker herabgesetzt wird. Die ausgetrocknete Bodenschicht wirkt in diesem Falle als Decke, welche den directen Einfluss der Insolation und Luftströmung auf die Verdunstung beschränkt. Es kommt hier wieder die Capillaritätswirkung in Betracht; die Herabminderung der Verdunstung erfolgt hier

1) S. W. Johnson, Studies on the Relations of Soils to Water. Annual Report of the Conecticut agricultural Experiment Station for 1877. New-Haven (nach Eser).

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. III.

deshalb in grösserem Maasse, weil die capillare Wasserleitung aus einem dichteren Boden in einen lockeren eine sehr verminderte ist. Ist dagegen die dichte Schicht die oberhalb gelagerte, so ist die Beeinträchtigung der Verdunstung eine geringere. Eine Combination zweier Bodenarten von verschiedener dichter Lagerung ergibt demnach je nach der relativen Lagerung der beiden Bodenschichten verschiedene Resultate. Analog wird das Verhalten sein, wenn zwei mineralogisch verschiedene Bodenarten übereinander gelagert sind, die ein verschiedenes, capillares Leitungsvermögen für Wasser besitzen. So wird der aufliegende Lehm dem feuchten Sande leicht Wasser entziehen und die Verdunstung weniger behindern, während im umgekehrten Falle das Aufsteigen des Wassers im Sande, der dem Lehm aufgelagert ist, und demnach auch die Verdunstung eine weit beschränktere ist.

Ganz anders verhält sich jedoch der mit einer Vegetationsdecke versehene Boden. Der mit lebenden Pflanzen bestandene Boden verdunstet weit grössere Wassermengen als der unbedeckte und dem entsprechend auch viel mehr als der mit leblosem Material bedeckte. (Es liegen hierüber zahlreiche im Interesse der Landwirthschaft angestellte Untersuchungen von Wilhelm, Breitenlohner, Schuhmacher, A. Vogel, Wollny und Eser vor.)

Nach A. Vogel war die Verdunstung von 1 □′ Boden innerhalb 108 Vegetationstagen je nach der Vegetationsdecke folgende:

	Thonboden	Kalkboden
Unbesäet	7044 Grm.	7561 Grm.
Verschiedenartig besäet	17828—21692 Grm.	19299—22919 Grm.

Eser's vergleichende Versuche liefern noch bedeutendere Differenzen.

Verdunstungsmengen pro 1000 □Cm. in Grammen innerhalb 31 Tagen:

Die Decke bestand aus	Lebenden Pflanzen	Fichtennadeln	Kiefernadeln	Buchenlaub
Höhe der Decke . .	—	5 Cm.	5 Cm.	5 Cm.
	13902	621	878	630

Die Decke bestand aus	Steinen	Stroh	Stroh	Stroh	Unbedeckt
Höhe der Decke . .	1 Cm.	5 Cm.	2 1/2 Cm.	1/2 Cm.	—
	1862	571	1040	2392	5739

Der unbedeckte Boden steht in seiner Verdunstungsfähigkeit in der Mitte zwischen dem bedeckten und dem mit Vegetation versehenen Boden. Dass die Vegetation nicht blos nicht als schützende Decke fungirt, sondern umgekehrt den Verdunstungsvorgang be-

schleunigt und steigert, ist in der Lebensthätigkeit der Pflanzen begründet. Die Pflanzen geben in ihren oberirdischen Organen reichlich Wasser an die Luft ab, das sie mit ihren Wurzeln dem Boden entziehen. Hierzu kommt noch, dass die den Boden bedeckenden Pflanzen in der Summe ihrer einzelnen Bestandtheile eine weit grössere Oberfläche repräsentiren als der Boden selbst, der sich unter ihnen befindet.

Diese austrocknende Wirkung, die die Pflanzen auf den Boden ausüben, beschränkt sich nicht blos auf die eben nur als Decke des Bodens fungirenden Gewächse, sondern auch auf andere sich hoch über den Boden erhebende Pflanzen. Vom Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln, geht ein ununterbrochener Wasserstrom nach der Peripherie, um hier allmählich in Dampfform an die Luft abgegeben zu werden.

Es sind besonders gewisse Pflanzen, die dieses Vermögen, dem Boden Wasser zu entziehen, in bedeutend hohem Grade besitzen, so die Sonnenblume (Helianthus annuus), der Indianerreis (Zizania aquatica), der Calmus (Calamus acori) und besonders der Blaugummibaum (Eucalyptus globulus) [1].

Von den Anpflanzungen des letzteren hat man besonders zur Assanirung des Malariabodens ausgedehnten Gebrauch gemacht, zum Theil mit günstigem Erfolge, wie in Italien, zum Theil aber auch ohne Erfolg, wie in Indien. Die tre fontane benannte Gegend in der römischen Campagna, die man durch ausgedehnte Eucalyptusanpflanzungen assanirt zu haben glaubte, wurde dennoch 1882 Sitz einer heftigen Malariaepidemie [2]. Auch in Australien (Sidney) wurde beobachtet, dass die Malaria in einzelnen Eucalyptuswäldern häufig vorkam. (Liversidge.)

Die Folgen der Verdunstung vom Boden aus haben grosse Wichtigkeit durch die Veränderungen, die in vielen Bodenzuständen dadurch auftreten. Vor Allem wird der Boden in Folge der Verdunstung permeabler, indem eine Reihe früher mit Flüssigkeit gefüllter Hohlräume nun für Luft zugänglich wird. Der Luftaustausch zwischen Boden und Oberfläche kann in Folge dessen ein viel energischerer sein als früher und erstreckt sich auf Bodenschichten, die früher vollständig abgeschlossen waren. Sodann aber kann durch die erfolgte Austrocknung, je nach der Beschaffenheit des Bodens und der in ihm wohnenden Flüssigkeiten, in den ausgetrockneten Schichten eine leichtere Ablösung von Staubtheilchen innerhalb des Bodens erfolgen, die sich der Bodenluft mittheilen und bei etwas

---

1) Hamm, Der Fieberheil- oder Blaugummibaum. Wien 1871.

2) Tommasi Crudeli, Études sur l'assainissement de la Campagne romaine. Archives italiennes de biologie. III.

stärkeren Luftströmen von diesen mitgenommen und an die Oberfläche geführt werden. Hier kommt dann jedenfalls die Beschaffenheit des Bodens, die Fähigkeit, Staub zu bilden, in Betracht (S. 19). Wir werden ferner sehen, dass gewisse chemische Vorgänge und, was noch wichtiger, die Lebensprocesse gewisser niederer Organismen mit durch diese Austrocknungsvorgänge beeinflusst werden können. Endlich ist auch der durch die aufsteigenden Capillarströme ermöglichte Transport von gelösten und suspendirten Beimengungen in Betracht zu ziehen. Die transportirende Flüssigkeit verdunstet an der Oberfläche, aber die mit ihr nach oben geschafften gelösten oder geformten Bestandtheile müssen an der Oberfläche oder in den oberen Bodenschichten verbleiben.

Schliesslich hat aber die Austrocknung des Bodens noch einen Effect, der im Stande ist, die Communication zwischen Bodenluft und Oberfläche zu vermitteln. Die Austrocknung des Bodens hat nämlich in einem Boden mit festerem Gefüge (nicht in einem lockeren, gekrümelten Boden) zumeist eine Volumverminderung zur Folge, die naturgemäss zu Unterbrechungen der Continuität, zur Bildung von Rissen und Spalten führen muss. Es sind ziemlich grosse Schwankungen, innerhalb welcher die Volumveränderungen stattfinden; in Procenten des ursprünglichen Volums der feuchten und festgelagerten Erde ausgedrückt, zwischen 0 und 30 %, und üben die quellungsfähigen Substanzen, vor Allem der Humus, den grössten Einfluss auf die Schwindung des austrocknenden Bodens (Schübler). Hierbei wird jeder Boden, der nicht reiner Sandboden ist (gelblicher Sand und Glimmersand zeigten beim Trocknen keine merkbare Abnahme der Dimensionen), beim Austrocknen in den oberen Schichten von Spalten durchsetzt. Je langsamer der Boden austrocknet, in um so grösserer Entfernung treten die Risse auf; je rascher die Austrocknung erfolgt, um so mehr sind sie genähert. Sie durchziehen den Boden immer senkrecht auf die Spannungsrichtung in verticalen Ebenen; Bodenspalten, welche zur Oberfläche parallel laufen, gibt es nicht. Die Lockerung und Krümelung des Bodens, die keine Volumänderungen durch Austrocknen wahrnehmen lässt, verhindert auch die Zerklüftung. Dagegen fand jedoch Wollny[1]), dass die Risse, welche sich bei starker Austrocknung im Boden bilden, um so zahlreicher, von um so unregelmässigerer Gestalt und grösserer Breite, sowie von um so grösserer Tiefe sind, je lockerer die Bodentheilchen gelagert sind. Er führt dies auf den Umstand zurück, dass

1) Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. V.

im dichteren Boden die Vertheilung des Wassers eine viel gleichmässigere und die Cohärenz eine grössere ist. Ein Bedecktsein des Bodens mit Pflanzen, welches eine Beschattung und langsamere Verdunstung aus den oberen Schichten bewirkt, bewirkt auch, dass in einem solchen Boden die Risse in grösseren Abständen sich zeigen (Haberlandt)[1]. Auf diese Spaltenbildung muss bei den hygienisch so wichtigen Austrocknungsphänomenen der Sümpfe u. s. w. Rücksicht genommen werden. Sie vermitteln die leichtere Communication mit unteren Bodenschichten und da sie den Luftzutritt begünstigen, eine grössere Bodenoberfläche der Luft exponiren, befördern sie auch weiter die Austrocknung und damit erneute Spaltenbildung.

In den Wechselfieberdistrikten Italiens, im Litorale, in den Maremmen von Toskana, im Val di Chian bei Arezzo, findet man einen sumpfigen Unterboden, cuora palustre bei den Eingeborenen genannt. Dieser Boden ist vielfach von guter Erde bedeckt, förmlich begraben von oft sehr mächtigen Auflagerungen (el terreno di colmata). So lange nun diese eine schützende Decke abgeben, in hinreichend dicker, compacter Schicht vorhanden sind, so lange ist der Boden unschädlich. Er wird aber gefährlich, sobald durch gewisse Continuitätstrennungen, Spaltenbildungen u. dergl. der Untergrund blossgelegt wird und in Beziehung zur atmosphärischen Luft treten kann[2].

VIERTES CAPITEL.

Die Beziehungen des Bodens zur Wärme und die Temperaturverhältnisse des Bodens.

Für die Temperaturverhältnisse des Bodens, so weit es sich um die im Boden selbst gelegenen Bedingungen handelt, werden hauptsächlich jene Eigenschaften der Bodenconstituenten maassgebend sein, welche die Fähigkeit derselben, Wärme aufzunehmen, und dieselbe wieder abzugeben und endlich weiter zu leiten, repräsentiren. Es wird also 1. das Ein- und Ausstrahlungsvermögen, 2. die Wärmecapacität (spec. Wärme) und 3. die Wärmeleitungsfähigkeit der Bodenconstituenten in Betracht kommen.

Die Rolle, die einer jeden dieser drei thermischen Eigenschaften der Bodenconstituenten zufällt, ist eine verschiedenartige, je nach der topographischen Anordnung, in der sich die Bodenconstituenten

---

1) Fühling's landwirthschaftl. Zeitung. 1877. 21. Jahrg. S. 481. — Hilger's Jahresbericht der Agriculturchemie. 1877. S. 43.

2) Klebs und Tommasi-Crudeli, Studien über die Ursache des Wechselfiebers. Archiv f. experimentelle Pathologie u. Pharmakologie. XI.

befinden, ob sie oberflächlich gelagert oder in die Tiefe versenkt sind; ferner auch je nach der Wärmequelle, die zur Einwirkung gelangt.

Wir haben drei verschiedene Wärmequellen zu unterscheiden, die in ihren Wirkungen sehr ungleichwerthig sind.

1. Die erste und mächtigste Quelle ist ausserhalb des Bodens zu suchen, es ist die Sonnenwärme; ihr Einfluss auf die Erwärmung der oberen Bodenschichten ist in mancher Beziehung viel mächtiger als auf die der Luft, welche letztere in den dem Boden anlagernden Schichten sogar wesentlich erst durch die Vermittelung des Bodens die Sonnenwärme zugeführt erhält. Die Sonnenwärme theilt sich der Erdoberfläche hauptsächlich durch Strahlung mit, ausserdem kommt mit Rücksicht auf die verschiedenartige Erwärmung der Bodenoberfläche die Wärmecapacität in Betracht. Für die tieferen Bodenschichten ist dann die Wärmeleitung in Combination mit der Wärmecapacität der maassgebende Factor.

Die beiden anderen Wärmequellen liegen im Boden selbst. Es ist

2. die Wärme, welche im Boden in Folge chemischer oder physikalischer Processe entsteht; ihre Entwickelung ist meist eine so allmähliche und ihre Wirkung mit Rücksicht auf die grossen Bodenmassen eine so geringfügige, dass sie nur innerhalb beschränkter Localitäten zur Geltung kommen kann, allerdings in gewissen Fällen doch wieder in bedeutungsvoller Weise, und gerade in jenen Bodenschichten, denen wir eine hygienische Bedeutung zuzuschreiben berechtigt sind.

3. die innere Erdwärme. Ihr Einfluss tritt mit Rücksicht auf die grosse Entfernung, in der sich die vom hygienischen Gesichtspunkte zu betrachtenden Bodenschichten von ihrer Quelle befinden, weit zurück.

Für die Erwärmung des Bodens durch die beiden letztgenannten Wärmequellen kommt hauptsächlich die Wärmeleitung und die Wärmecapacität in Betracht.

I. Ein- und Ausstrahlung der Wärme.

Die Wärmestrahlung, jener Vorgang, durch welchen die Sonnenwärme auf die Erdoberfläche übertragen wird, beruht in der Thatsache, dass von zwei verschieden temperirten, nicht mit einander in Berührung stehenden Körpern der höher temperirte Körper Wärme verliert, der nieder temperirte Wärme gewinnt, welcher Vorgang sich in einem dazwischen liegenden Medium abspielt, ohne dass dieses Medium sich erwärmt. Es ist diese Art der Wärmeausstrahlung mit der Fortpflanzung des Lichts zu vergleichen. So wie dieses den durchsichtigen Körper durchdringt, ohne in die Körper überzugehen und sie leuchtend zu machen, so durchdringt auch die Wärme die diathermanen Körper, ohne sie zu erwärmen.

Wird ein Körper von Wärmestrahlen getroffen, so werden dieselben zum Theil regelmässig oder unregelmässig reflectirt, zum Theil dringen sie in den Körper hinein. Bei den diathermanen Körpern, d. h. solchen, welche die Wärme hindurchtreten lassen, pflanzt sich diese eindringende

Wärmemenge zum Theil nach demselben Gesetze durch den Körper fort, nach welchem sie sich in die Luft fortpflanzt; zum Theil wird sie in dem Körper festgehalten. Bei den adiathermanen Körpern tritt gar keine Wärme durch den Körper hindurch, sie wird ganz im Innern des Körpers festgehalten, sie wird absorbirt, wodurch der Körper erwärmt wird. Die Erwärmung des Körpers unter dem Einfluss der Strahlung ist also ein Werk der absorbirten Wärme und die Absorption ist die Umwandlung strahlender Wärme in innere Wärme.

Ebenso ist die Ausstrahlung, die Wärmeemission, welche erwärmte Körper gegenüber kühleren wahrnehmen lassen, die Umwandlung innerer Wärme in strahlende. Diese beiden Eigenschaften, die sich bei verschiedenen Körpern und unter verschiedenen Umständen verschieden verhalten, stehen miteinander in einem innigen Zusammenhange, insofern sie bei Temperaturen unter 100° gleichen Schritt einhalten; d. h. alle Umstände, welche die eine begünstigen, kommen gleicher Weise der andern zu statten. Es ist dies ein Fundamentalsatz, auf den wir in den weiteren Ausführungen Bedacht zu nehmen haben werden.

Die Eigenschaften der Bodenconstituenten, die die Wärmestrahlung wesentlich beeinflussen, sind die physikalische Beschaffenheit der Oberfläche, die chemische resp. mineralogische Zusammensetzung des Körpers. Die Oberflächen besitzen wesentlich verschiedenes Strahlungsvermögen, je nach dem, ob sie dichter oder lockerer Beschaffenheit sind. Je dichter die oberflächlichste Schichte, um so geringer ist die ausgestrahlte Wärmemenge. Deshalb ist Auflockerung der strahlenden Theile als Ursache der Vermehrung der Strahlung zu betrachten.

Im Einklang hiermit fand Lang[1]) bei seinen Bodenuntersuchungen, dass das feinste Material die Wärme am besten absorbirt und emittirt. Die Differenzen betrugen bei Kornarten von 2 Mm. Durchmesser bis zu Pulverfeinheit und bei Temperaturen von 30—40° bis zu 6° C. Noch wirksamer macht sich sodann die Farbe[2]) der Bodenoberfläche geltend, die sogar den Einfluss der verschiedenen Dichte der Oberfläche übercompensiren kann. Die dunklere Färbung begünstigt sowohl die Absorption, als auch die Emission. Dementsprechend wird der lufttrockene Boden während der wärmeren Jahreszeit bei dichterer oder dunkelgefärbter Oberfläche durchschnittlich wärmer, als bei lockerer oder hellgefärbter. Die Differenz kann über 5° betragen. Daher sind auch die täglichen Temperaturschwankungen bei dunkler Färbung grösser, als bei heller.

---

1) Lang, Ueber Wärmeabsorption und -Emission. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. I.

2) Wollny, Einfluss der Farbe des Bodens auf die Erwärmung. Ebenda. Bd. I. S. 43. Bd. IV. — Lang l. c. — Liebenberg, Untersuchungen über die Bodenwärme. 1875.

Der Einfluss der Färbung ist so gross, dass dunkle Böden selbst bei grösserer specifischer Wärme sich dennoch mehr erwärmen können, als lockere, z. B. humöser Lösslehm, Auenlehm, Sandmoorboden mehr als Diluviallehm, Diluvialmergel, Eisenmoorboden. Am stärksten ist die Erwärmung bei Sandmoorboden (schwarze Farbe und geringe Wärmecapacität; Tertiärthon (mit weisser Farbe) erwärmt sich trotz geringer Wärmecapacität am wenigsten.

Nach Lang findet sich für die relative Grösse des Absorptions- und Emissionsvermögens folgende absteigende Reihe: Kienruss, Torf, Quarz, Marmor, Kaolin. In welcher Weise sich hierbei auch der physikalische Charakter der Bodenarten ausspricht, ist nicht festgestellt.

Den Variationen bezüglich der Beschaffenheit der Bodenoberfläche haben wir auch den Pflanzenwuchs, die Vegetation zuzuzählen. Sie beeinflusst das Strahlungsvermögen des Bodens in wesentlicher Weise. Nach Maquenne [1]) absorbiren die Blätter einen grossen Theil der Wärmestrahlen, die dickeren mehr als die dünneren und ist das Ausstrahlungsvermögen derselben bei einem grossen Temperaturüberschuss gleich dem des Russes, das Absorptionsvermögen des Chlorophylls gleich dem des Wassers.

Da ferner das Wärmestrahlungsvermögen um so grösser ist, je grösser die Oberfläche, so muss ein dichtgeschlossener Pflanzenboden schon wegen der in ihm gegebenen Vergrösserung der Oberfläche ein grösseres Absorptions- und Emissionsvermögen besitzen. Nach Well's und Daniell's Beobachtungen kann die Temperatur des Wiesenbodens während 10 Monaten unter den Gefrierpunkt sinken [2]). Doch wirken bezüglich der Erwärmung der Bodenoberfläche noch andere Momente mit, so die Verdunstung, der Wassergehalt, welche das Resultat wesentlich modificiren (vergl. S. 122).

Der Wassergehalt des Bodens spielt bei dem Strahlungsvermögen desselben jedenfalls auch eine wesentliche Rolle, die aber bisher experimentell nicht ausreichend erforscht ist. Dort wo das Wasser den Boden vollständig bedeckt, und auf diese Weise die Oberfläche zu einer mehr gleichmässigen, homogenen und continuirlichen macht, sollte schon aus diesem Grunde das Strahlungsvermögen vermindert werden, und demnach auch eine geringere Erwärmung und auch geringere Abkühlung erfolgen. Dazu kommen dann noch die Effecte der grösseren Wärmecapacität, des grösseren Wärmeleitungsvermögens und die durch die Verdunstung erzeugten Abkühlungen, die diese Wirkung des Wassers noch steigern.

---

1) Naturforscher. 1881. 2) Schmid, Lehrbuch der Meteorologie. 1860.

Ein zweiter Factor, der bestimmend wirkt auf die durch eine jeweilige Wärmequelle hervorzurufende Erwärmung, Temperaturerhöhung des Bodens, ist die Wärmecapacität.

Wir verstehen unter Wärmecapacität eines Körpers die Anzahl von Wärmeeinheiten, welche erforderlich sind, diesen Körper um einen Temperaturgrad zu erwärmen; und das Verhältniss dieser Wärmemenge zu der Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ein gleiches Gewicht Wasser um einen Grad zu erwärmen, nennen wir specifische Wärme [1]).

Für die einzelnen der häufiger vorkommenden Mineralien, die in der Zusammensetzung der Erde eingehen (vergl. S. 8 u. ff.), sind folgende Werthe gefunden worden:

Wasser 1,0000 (Regnault) [2]).
Holz 0,543 (Mayer) [2]) (Tannenholz 0,654, Eichenholz 0,570, Birnbaumholz 0,500).
Eis 0,513 (Desains), 0,5037 (Person), 0,5333 (Hess) [2]).
Torf 0,477—0,529 (Lang) [3]), (Pfaundler) [4]).
Kohlensaure Magnesia 0,276 (Neumann), 0,2439 (Regnault) [2]).
Gyps 0,2728 (Neumann) [2]).
Kohlensaurer Kalk 0,271 (Lavoisier u. Laplace) [3]), 0,27 (Dalton) [3]), 0,20858 (Regnault) [2]).
Luft 0,2669 [2]).
Weisser Thon 0,241 (Gadolin) [3]).
Kaolin 0,233 (Lang) [3]).
Thonerde 0,217 (aus der Formel berechnet) [3]).
Marmorpulver 0,214 (Lang) [3]).
Flussspath 0,2082 (Neumann) [2]).
Kalkspath 0,2046 „
Aragonit 0,2018 „
Hornblende 0,1958 „
Augit 0,1938 „
Feldspath 0,1911 „
Kiessand 0,190 (Fischer) [3]).
Quarz 0,186 (Kopp), 0,1883 (Neumann), 0,1913 (Regnault).
Quarzsand 0,1963 (Lang) [3]).
Schwefelkies 0,1256 (Neumann) [2]).
Blende 0,1144 „
Schwerspath 0,1088 „

Entsprechend dieser Tabelle sind die Unterschiede in der Wärmecapacität der einzelnen petrographischen Bodenconstituenten insofern, als wir das Wasser mit in die Reihe aufnehmen, nicht unbedeutend

1) Maxwell, Theorie der Wärme. Deutsch von F. Neesen. 1878. S. 74.
2) Nach Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung.
3) Lang, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. I.
4) Pfaundler, Pogg. Ann. 129. 1866.

zu nennen. Zu dieser Mitberücksichtigung des Wassers haben wir aber vollen Anlass, wenn wir bedenken, welche ausserordentliche Rolle es in der Zusammensetzung, wenigstens der oberen Bodenschichten, spielt. Das Wasser steht nun in unserer Reihe obenan, es hat die grösste Wärmecapacität, sie übertrifft die des Schwerspaths, des letzten Minerals in unserer Reihe um das neunfache, die des Quarzes, Feldspaths um mehr als das fünffache, die des Kalkspaths, des Marmors, der Thonerde um mehr als das vierfache.

An das Wasser schliessen sich dann die pflanzlichen Gebilde, die Materien organischen Ursprungs, Holz und Torf.

Gegenüber den Differenzen nun zwischen der Wärmecapacität des Wassers einerseits und der Mineralien andererseits treten die Unterschiede in der Wärmecapacität der Mineralien unter einander bedeutend zurück, die grösste Differenz in der hier angeführten Reihe zwischen kohlensaurer Magnesia und Schwerspath drückt sich in dem Verhältniss 0,28 resp. 0,24 zu 0,11 aus oder 2,5 resp. 2,1 zu 1.

Noch wichtiger für die Beurtheilung der thatsächlichen Verhältnisse können die Bestimmungen der Wärmecapacität von natürlichen Bodenarten werden, welche als Gemenge von Mineralien unter Beimischung von organischen Stoffen, meist auch von Luft und Wasser aufzufassen sind, und dasjenige Material repräsentiren, das als oberflächliche Bodenschichte eben der Erwärmung ausgesetzt ist.

Nebenstehende (S. 131) von mehreren Untersuchern herrührende Tabelle gibt einige mit der Mischungsmethode gefundene Werthe.

Die Werthe dieser Tabelle zeigen keine volle Uebereinstimmung. Es variiren diese Bodenarten trotz ihres gleichartigen mineralogischen Charakters nicht unbedeutend, bis um 16 %. Sodann sehen wir auch grosse Differenzen je nach dem Zustande, ob der Boden lufttrocken oder bei 100° getrocknet untersucht wurde. Diese Differenzen gehen bis zu 14 % (Haideerde), ja sogar bis zu 48 % (Eisenmoorboden).

Es ist aber begreiflich, warum sich diese Schwankungen einstellen müssen. Die Zusammensetzung natürlicher Bodenarten zeigt trotz gleicher petrographischer Classificirung und trotz scheinbar gleichartiger Beschaffenheit eine genügende Verschiedenheit, um ein Generalisiren der gewonnenen experimentellen Resultate zu verhindern. Hierzu kommt aber noch als schwerwiegender Factor der Wassergehalt des Bodens. Denn da die Wärmecapacität des Wassers gegenüber der der Bodenarten und gegenüber der der Luft eine so bedeutende ist — die des Wassers = 1,000, die der Luft = 0,2669 dem Gewichte nach und 0,1686 dem Volumen nach —, so muss schon die Beimischung von relativ geringen Wassermengen eine

Wärmecapacität verschiedener Bodenarten.

Nach Liebenberg [1]			Nach Pfaundler [2]			Nach Lang [3]	
	luft-trocken	bei 100° getrocknet		luft-trocken	bei 100° getrocknet		bei 100° getrocknet
Tertiärsand, grober . . .	0,268	0,268	Türkenschanze bei Wien . . .	0,2062	0,2029	—	—
„ feiner . . .	0,275	0,275	—	—	—	—	—
Diluvialsand, grober . . .	0,192	0,191	—	—	—	—	—
„ feiner . . .	0,162	0,160	Bei Pest	0,1945	0,1923	—	—
Alluvialsand	—	—	Donauufer (Niederösterreich) . .	0,2163	0,2140	—	—
Kalksand	0,191	0,188	—	—	0,2081	—	0,249
Diluviallehm	0,225	0,220	—	—	—	—	—
Diluvialmergel	0,257	0,249	—	—	—	—	—
Lösslehm	0,277	0,259	—	—	—	—	—
Lössmergel	0,292	0,284	—	—	—	—	—
Humöser Lösslehm . . .	0,329	0,310	—	—	—	—	—
Auelehm	0,322	0,299	—	—	—	—	—
Schiefer	—	—	Schiefergehänge bei Dürenstein, Gneuss	0,2258	0,2147	—	—
Porphyrverwitterung . . .	0,219	0,209	—	—	—	—	—
Serpentinstein	—	—	Oesterr.-mähr. Plateau	0,2821	0,2793	—	—
Basaltboden	0,330	0,346	—	—	—	—	—
Granitboden	0,388	0,380	Plateau in Oberösterreich . . .	0,3587	0,3489	—	—
Kalkboden (Muschelkalk) .	0,351	0,339	Kalkberg im Wiener Wald . .	0,3044	0,2829	Humöser Kalkboden	0,257
—	—	—	„ in den Voralpen (Niederösterreich. Aptychenkalk . . .	0,3289	0,3161	—	—
—	—	—	Kalkalpen (Oetscher, Niederösterr.)	0,3075	0,2829	—	—
Sandmoorboden	0,270	0,261	Wiesenmoor	0,2598	0,2507	—	—
Haideerde	0,365	0,312	Steppenboden, thonig	0,2836	0,2682	—	—
Eisenmoorboden	0,221	0,122	—	—	—	—	—
Hochmoor	—	—	Steiermark	0,5293	0,5069	—	—
Tertiärthon	0,182	0,161	—	—	—	—	—
Humusreiche Krume . . .	—	—	—	0,4436	0,4143	—	—
Erde von sehr fruchtbarem Weizenacker	—	—	—	0,3037	0,2847	—	0,267
Gartenerde	—	—	—	—	—	—	—

1) Liebenberg, Untersuchungen über die Bodenwärme. Halle 1875. Habilitationsschrift.
2) Pfaundler, Poggend. Annalen. Bd. 129. 1866.
3) Lang, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. I.

ganz bedeutende Verschiebung des Resultates hervorbringen, während die Luft mit ihrer Wärmecapacität der der verschiedenen Gesteinsarten viel näher steht. Da nun aber der Wassergehalt des Bodens von der verschiedenen physikalischen und zum Theil auch chemischen Beschaffenheit des Bodens wesentlich abhängt (Cap. III), so werden diese Eigenschaften auch mittelbar die Wärmecapacität des Bodens beeinflussen. Die Schwankungen in der Wärmecapacität der einzelnen Bodenarten unter einander gegenüber den durch den wechselnden Wassergehalt hervorgerufenen treten in der That etwas zurück. Das Verhältniss der höchsten Wärmecapacität zur niedrigsten ist nach Liebenberg ca. 3,2 : 1, nach Pfaundler 2,6 : 1. Das Verhältniss der höchsten Wärmecapacität des Wassers zur niedrigsten Wärmecapacität der Bodenarten dagegen nach Liebenberg 8,2 : 1, nach Pfaundler 5,2 : 1.

Schuhmacher[1]) gibt über diesen Einfluss des Wassergehalts folgendes rechnerische Beispiel: Wenn der Sandlehm, dessen Wärmecapacität 0,1572 gefunden wurde, 50 % Wasser enthielte, so würde die Wärmecapacität des nassen Bodens $\frac{1 \,.\, 1{,}100 + 1 \,.\, 0{,}1571}{2} = 0{,}5786$ sein. Enthielte er nur 25 % Wasser, so würde sie sein $\frac{1 \,.\, 1{,}000 + 3 \,.\, 0{,}1572}{4} = 0{,}3679$. Im ersteren Falle würde beinahe 4 mal, im zweiten Falle $2^1/_2$ mal soviel Wärme nöthig sein, die Temperatur des feinsten Bodens etwa von 0° auf 10° zu erhöhen, oder bei gleicher Wärmezufuhr 4 mal resp. $2^1/_2$ mal soviel Zeit, als bei demselben Boden im trockenen Zustande.

Es könnte also leicht der Fall eintreten, dass die Eruirung des Wassergehalts des Bodens wichtiger ist für die Beurtheilung der Wärmecapacität, als der der einzelnen mineralogischen Bestandtheile.

Hervorzuheben wäre noch, dass die auf das Volumen bezogenen Wärmecapacitäten bei den einfachen Körpern weniger unter einander differiren, als dieses bei der auf das Gewicht bezogenen der Fall ist, wie folgende Tabelle Lang's (l. c.) zeigt:

	Wärmecapacität	
	dem Volumen nach	dem Gewichte nach
Luft	0,1686	0,2669
Quarzsand	0,517	0,196
Marmor	0,582	0,214
Kaolin	0,576	0,233
Torf	0,601	0,477
Gartenerde	0,651	0,267
Wasser	1,000	1,000

1) Schuhmacher, Die Physik des Bodens in ihren theoretischen und prakstichen Beziehungen zur Landwirthschaft.

Anders ist dies bei den Bodenarten, die sich aus den einzelnen Bodenconstituenten zusammensetzen.

Die von LIEBENBERG (l. c.) untersuchten Bodenarten zeigen folgende Verschiedenheiten in der spec. Wärme auf das Volumen bezogen.

	Spec. Wärme, bezogen auf Volumen	
	lufttrocken	bei 100° getrocknet
Tertiärsand, grober . .	0,464	0,464
„ feiner . . .	0,454	0,454
Diluvialsand, grober . .	0,346	0,344
„ feiner . . .	0,269	0,266
Kalksand	0,222	0,218
Diluviallehm	0,322	0,315
Diluvialmergel	0,360	0,349
Lösslehm	0,343	0,321
Lössmergel	0,400	0,389
Humöser Lösslehm . . .	0,382	0,359
Auelehm	0,412	0,383
Porphyrverwitterung . .	0,304	0,291
Granitboden	0,446	0,437
Basaltboden	0,380	0,346
Muschelkalkboden . . .	0,450	0,434
Sandmoorboden	0,313	0,303
Haideerde	0,161	0,136
Eisenmoorboden	0,146	0,081
Tertiärthon	0,216	0,192

Es macht sich hier jedenfalls wieder der Einfluss von Luft und Wasser geltend; wir sehen dies besonders an den drei letzten Bodenarten, die offenbar wegen ihres Luftgehaltes von den anderen so differiren.

Die Differenzen, die aber durch eine eventuelle Verdrängung des Wassers durch Luft eintreten müssen, werden sehr bedeutend sein, entsprechend dem Umstande, dass die Wärmecapacität des Wassers zu der der Luft sich wie 1,000 zu 0,1686 verhält.

Die Versuche SCHWARZ's[1]) (vergl. S. 105) gewähren hierin einen belehrenden Einblick.

Wärmecapacität bezogen auf gleiche Volumen.

Bodenart	Bei 100° getrocknet		Lufttrocken		Capillar gesättigt	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
Moor	0,140	(1,00)	0,191	(1,36)	0,960	(6,85)
Sand	0,325	(2,32)	0,347	(2,48)	0,675	(4,82)
Lehm	0,326	(2,33)	0,341	(2,46)	0,762	(5,44)
Thon	0,289	(2,00)	0,406	(2,90)	0,804	(5,74)

1) Ber. über die Arbeiten der landwirthsch.-chem. Versuchsstation. 1870—71.

Die dominirende Rolle des Wassers tritt hier aufs Deutlichste hervor, den Einfluss der anderen Factoren compensirend resp. übercompensirend. Um den betreffenden Vergleich zu erleichtern, wurden sämmtliche Zahlen auf eine Einheit reducirt, als welche letztere der bei 100° getrocknete Moor genommen wurde (vergl. die Zahlen in Klammern). Es wird so ersichtlich, dass nicht blos die Unterschiede mit dem steigenden Wassergehalte unter den einzelnen Bodenarten geringer werden (vom 2,3 fachen — bei 100° getrocknet — mindern sie sich herab auf das 2,1 fache — lufttrocken — und auf das 1,4 fache — capillar gesättigt —), sondern dass sogar die ganze Reihenfolge geändert wird, so dass der Moor, der trocken die geringste Wärmecapacität besitzt, im capillar gesättigten Zustande an die erste Stelle tritt, da er eben am meisten Wasser aufzunehmen vermag.

Die Wärmecapacität der betreffenden Materialien im capillar gesättigten Zustande übertrifft die Wärmecapacität der bei 100° getrockneten Materialien um das 2—6,8 fache, die der lufttrockenen um das 2—5 fache.

Die bisherigen Untersuchungen über Wärmestrahlung und Wärmecapacität gewähren uns schon einen Einblick in das Verhalten unserer Bodenoberfläche zur Wärme[1]) und die daraus resultirenden Temperaturschwankungen; wir müssen nur noch berücksichtigen, dass die Bodendecke und als solche ganz besonders das Wasser einen wesentlichen Einfluss üben.

Bei Einwirkung einer stärkeren Wärmequelle, also während der wärmeren Jahreszeit, ist die Bodenoberfläche im nassen Zustande im Durchschnitte kälter, als im trockenen oder blos feuchten. Die grössere Wärmecapacität des Wassers lässt die Temperaturerhöhung nur allmählich erfolgen und die grössere Verdunstung entzieht dem Boden wieder Wärme, dabei kann in Folge des gesteigerten Wärmeleitungsvermögens (S. 150) die Wärme leichter an die tieferen Schichten und an die Luft abgegeben werden. Ebenso ist zur Zeit des täglichen Maximums der Temperatur der Bodenoberfläche der Temperaturunterschied zwischen nassem und trockenem Boden am grössten. In kälterer Jahreszeit oder zur Zeit des täglichen Minimums, in den ersten Morgenstunden, ist meist der nasse

1) Es wird in diesem Capitel die S. 6 ausgesprochene Eintheilung insofern durchbrochen, als die Temperaturverhältnisse des Bodens als Ganzes in das Bereich der Erörterung gezogen werden. Es hängt dies mit den besonderen Wechselbeziehungen zwischen Wärmequelle und Bodenwärme zusammen, die sich schwer trennen lassen und der Zeit eine einheitliche Behandlung verlangen.

Boden wärmer als der trockene, da hier der Wassergehalt wieder regulirend einwirkt, die Abkühlung ebenfalls viel langsamer erfolgt und wohl auch die Strahlung eine geringere ist. So sind denn im Allgemeinen die Temperaturschwankungen des nassen Bodens geringer als die des trockenen[1]).

In grösserem Maassstabe, den klimatischen Charakter bestimmend, äussert sich dieser Einfluss des Wassers an Inseln und Küsten, wo in Folge dieser thermischen Eigenthümlichkeiten des Wassers weit weniger abstehende Temperaturextreme auftreten und so die Gleichmässigkeit des „Seeklimas" hergestellt wird (vgl. auf S. 144 u. 148 die Curven von Nukuss und Melbourne).

Die Vegetation wirkt zum Theil aus denselben Ursachen, zum Theil auch durch ihre Lebensthätigkeit dem Wasser analog. Ein nackter, vegetationsloser Boden wird heisser als ein mit Pflanzen bedeckter, den die Sonnenstrahlen nicht direct treffen. Ferner ergaben die Beobachtungen E. H. Becquerel's[2]) während des ungewöhnlich strengen Winters 1879/80, dass im berasten Boden die Temperaturschwankungen viel geringere waren und der Frost auch nicht so tief herabreichte, als im nicht berasten.

Für den bewaldeten Boden hat Ebermayer[3]) nachgewiesen, dass derselbe im Jahresmittel kühler ist als unbewaldeter. Die Temperatur ist niedriger, weil die Bäume und die Streudecke die directen Strahlen abhalten und die eigene absorbirte Wärme nur sehr langsam weiter leiten. Die Temperaturunterschiede machen sich besonders im Sommer geltend, wo sie viel bedeutender sind als im Winter. (Eine Schneedecke lässt die Differenzen fast vollständig verschwinden; dagegen bietet bei Mangel einer Schneedecke die Streudecke Schutz gegen rasches und tiefes Eindringen des Frostes.)

A) Erwärmung der Bodenoberfläche.

Um ein Bild über die Temperaturverhältnisse der Erdoberfläche zu gewinnen, ist es nothwendig, auch die Wärmequelle, von welcher diese abhängig sind, mit in Betracht zu ziehen, und die Beziehungen der beiden zu einander.

Die Wärmequantitäten, die der Erde durch Strahlung von Seiten der Sonne zugeführt werden, die absolute Intensität der Sonnenstrahlung, wird in dem Begriff der Sonnenconstante aus-

1) Wollny, Landwirthschaftl. Jahrbücher. V. 1876.

2) Comptes rendus. XCII. p. 1253.

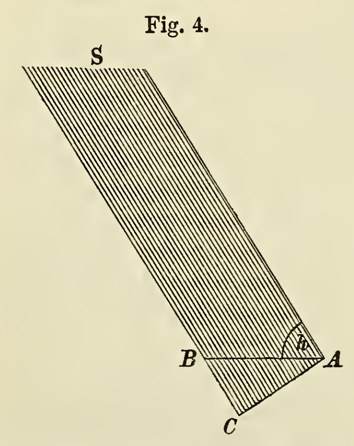
3) Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden.

gedrückt. Wir verstehen darunter diejenigen Calorien, welche innerhalb 1 Minute auf 1 □ Cm. Erde bei senkrechter Bestrahlung von der Sonne übergehen. Sie beträgt nach actinometrischen Messungen POUILLET's [1]), Paris 1837/38, 1,76 Calorien. (HAGEN fand aus Messungen in Madeira 1861/67 die Solarconstante zu 2, CROVA 1875/76 1,9—2,3, VIOLLE [Mont Blanc] 1875 2,56, LANGLEY [Alleghany] 1881 2,82, FERREL 1883 2,1.) [2]) Daraus ergibt sich für die gesammte Wärmemenge, welche von der Sonne auf die Erde zu überströmen vermag, eine Summe von jährlich mehr als 1 ½ Quatrillionen Wärmeeinheiten. Diese Wärmemenge würde genügen, eine Eisschicht von 4,481 Meter, nach WÜLLNER jedoch von 28,96 Meter Dicke über der ganzen Erdoberfläche zu schmelzen.

Die Intensität und Quantität der Strahlung [3]), welche ein bestimmter Punkt an der Erdoberfläche erhält, wird aber von den verschiedenen Beziehungen zwischen Sonne und Erdoberfläche beeinflusst.

Zunächst von dem Einfallswinkel der Strahlen oder von der Sonnenhöhe und von der Dauer der Bestrahlung, d. i. von der Tageslänge.

Fig. 4.



Die Fläche AB, auf welche die Sonnenstrahlen nicht senkrecht auffallen, enthält in dem Maasse eine geringere Bestrahlung als die Fläche AC, auf welche die Sonnenstrahlen senkrecht auftreffen, als die Fläche AB die Fläche AC an Grösse übertrifft. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, dass eben dieselbe Strahlenmenge sich einmal auf die kleinere senkreckte Fläche AC, das andere Mal auf die grössere geneigte Fläche AB vertheilt und zwar verhält sich die Intensität der Bestrahlung auf die Fläche AB $(= J')$ zu jener auf der Fläche AC $(= J)$ umgekehrt, wie die Grösse dieser Fläche

$$J' : J = AC : AB.$$

Daraus berechnet sich

$$J' = J \cdot \frac{AC}{AB} = J \sin h.$$

1) Comptes rendus. 1838. 2) Naturforscher. 1885. S. 50.

3) Ich folge in dieser Entwickelung der Wärmestrahlung zum grossen Theil der vortrefflichen Darstellung HANN's in seinem Handbuch der Klimatologie.

h ist hierbei der Ausdruck für die Sonnenhöhe, d. h. für jenen Winkel, unter welchem die Strahlen auffallen, d. h. den sie mit dem betreffenden Horizont bilden.

Die Intensität der Bestrahlung ändert sich also proportional mit dem Sinus der Sonnenhöhe und nimmt demnach mit der geographischen Breite ab, nach einem complicirten Gesetze, auf welches hier nicht eingegangen werden kann.

Einen grossen Einfluss auf den Betrag der Isolation und Bodenwärme hat auch die Exposition. Die Umgebungen der Pole selbst ausgenommen, wo die Sonne rings um den Horizont herumgeht, gibt es auf jeder Hemisphäre eine besonders begünstigte und eine besonders zurückgesetzte Abdachung in Bezug auf den Betrag der Sonnenstrahlung, den dieselbe empfängt. Auf der nördlichen Hemisphäre sind es die Südhänge, welche vermöge des steileren Einfallens der Strahlen eine grössere Insolation erhalten, auf der südlichen die Nordhänge. Dazu kommt bei geringerer Sonnenhöhe die längere Dauer der Beschattung der von der Sonne abgewendeten Abhänge, welche den Insolationsüberschuss der südlichen Gehänge (auf unserer Halbkugel) noch vermehrt. In den Aequinoctialgegenden sind Nord- und Südhänge gleich begünstigt, hingegen haben die Ost- und Westabhänge eine etwas längere Beschattung.

Bei Innsbruck beträgt der Unterschied der Bodenwärme zwischen Süd- und Nordhang noch in 0,8 Meter Tiefe im Jahresmittel 3,3, im Sommer 4° und wird an der Oberfläche erheblich grösser sein (Hann).

Die gesammte strahlende Wärme der Sonne gelangt jedoch nicht bis zur Bodenoberfläche, ein Theil wird bereits von der Atmosphäre absorbirt. Zwar ist das Absorptionsvermögen der Luft in trockenem Zustande sehr gering. Das Absorptionsvermögen des Vacuums gleich 0,000 gesetzt, beträgt das der trockenen Luft 0,030 (das des Wasserstoffs 0,026), trotzdem erhält nach Pouillet die ganze beschienene Halbkugel nur etwa 0,6 der auf sie strahlenden ursprünglichen Wärmemenge, während 0,4 davon im Luftkreise bleiben, der dadurch zu einem Wärmereservoir und Wärmeregulator wird.

Man hat vorwiegend dem Wasserdampf in der Luft diese wärmeabsorbirende Eigenschaft zugeschrieben. Nach Tyndall soll derselbe ein 40 fach so grosses Absorptionsvermögen besitzen als das der Luft ist. Magnus sucht dem gegenüber nachzuweisen, dass das von Tyndall dem Wasserdampf zugeschriebene Absorptionsvermögen nicht diesem als solchem, sondern den Nebelbläschen, Niederschlägen und dergl. zuzuschreiben ist. Die Versuche von

Magnus[1]), von Lecher und Pertner[2]) lassen die durch Wasserdampf erfolgende Absorption unermesslich klein erscheinen, dagegen soll die in der atmosphärischen Luft vorhandene Kohlensäure die Rolle des absorbirenden Mediums übernehmen [Lecher[3]), Heine[4])]. Andererseits aber muss wohl auch die Aufmerksamkeit auf die in der Luft suspendirten körperlichen Theile, die Staubmassen, gelenkt werden, die jedenfalls auch einen bedeutenden absorbirenden Einfluss besitzen.

Der Einfluss, den die Atmosphäre auf den Effect der Sonnenstrahlung und der Erdoberfläche nimmt, ist überdies ein zweifacher. Es wirkt einmal die jeweilige Beschaffenheit der Atmosphäre, die Strahlung hängt davon ab, ob der Himmel rein oder trübe, bedeckt ist. Nebel vermindern den Unterschied, der durch Strahlung hervorgerufen wird. Dichte, niedrige Wolken, deren Temperatur die der unteren Atmosphäre ist, strahlen nahezu ebenso viel Wärme zum Boden zurück, als sie von ihm empfangen. Dichte, hohe Wolken hingegen können dies wegen ihrer niedrigen Temperatur nicht, verhindern deshalb die Erkaltung des Bodens nicht vollständig.

Ausserdem wirken die in der Atmosphäre suspendirten feinen Theilchen, Staubpartikel, Wassertropfen u. A. reflectirend und zerstreuend auf die Sonnenstrahlung und machen so die Atmosphäre zu einer Licht- (diffuses Tageslicht) und Wärmequelle, welche wegen ihrer grossen Ausdehnung von erheblicher Wirkung ist. Besonders in hohen Breiten, wo die Absorption der directen Strahlung bei dem tiefen Sonnenstande sehr gross ist (vergl. folgende Seite), dafür aber auch die Dämmerung sehr lange, wird die diffuse Strahlung des Himmels von grosser Wichtigkeit.

Die Beeinflussung der Strahlung durch die Atmosphäre erfolgt sodann auch nach der quantitativen Seite hin, indem dieselbe, wolkenlosen klaren Himmel stets vorausgesetzt, eine um so grössere Strahlenmenge absorbirt, einen je längeren Weg letztere durch dieselbe zurücklegen muss. Die Sonnenhöhe kommt also nicht allein deshalb in Betracht, weil davon der Einfallswinkel der Strahlen abhängt, den wir früher in Rechnung gezogen haben, sondern weil dadurch auch die Länge des Weges bestimmt wird, den die Strahlen durch die Atmosphäre zurückgelegt haben. Die Intensität der Strahlung

1) Poggendorf's Annalen. Bd. 112 u. 118.

2) Wiener Academ. Berichte. II. Abth. Bd. 82.

3) Ibidem.

4) Ueber die Absorption der Wärme durch Kohlensäure. Inaug.-Dissert. Giessen 1882. Naturforscher. 1882.

nimmt deshalb mit tiefer sinkender Sonne in einem viel rascheren Verhältniss ab, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde.

Die folgenden Zahlen geben die Dicke der atmosphärischen Schichten an, welche die Strahlung bei verschiedenen Sonnenhöhen durchlaufen muss, wenn die Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt wird, sowie die durchgelassene Strahlenmenge (für den Absorptionscoefficient 0,75).

Sonnenhöhe	0°	5°	10°	20°	30°	50°	70°	90°
Dicke der Atmosphäre	35,5	10,2	5,56	2,90	1,99	1,31	1,06	1,00
Durchgelassene Strahlenmenge	0,000	0,053	0,202	0,434	0,564	0,687	0,736	0,750

Man sieht, dass bei niedrigem Sonnenstande die durchgelassene Strahlenmenge sehr geringfügig ist. (Hann.)

Es seien hier einige Beispiele angeführt, betreffend die Höhe der Bodentemperatur, wie sie durch die Bestrahlung herbeigeführt wird. Herschel fand in der Bodenoberfläche in Südafrika eine Temperatur bis 70° C., Nouet bei Theben in Aegypten 67,5°, v. Humboldt den Granitsand bei den Katarakten des Orinoco 60,3° und Winterbottom den Boden von Sierra Leone 59° [1]).

Auf der durch die Atmosphäre erfolgenden Absorption der Wärmestrahlen beruht auch die Zunahme der Intensität der Sonnenstrahlen bei zunehmender Elevation. Denn da mit Zunahme der Erhebung über dem Meere die über dem Boden befindliche Luftsäule verkleinert wird, wird auch die Absorption der Wärmestrahlen durch diese Luftsäule kleiner und die Intensität der Wärmestrahlung grösser.

Die Folgen dieser gesteigerten Intensität der Sonnenstrahlung an heiteren Tagen treten dann in einer relativ gesteigerten Bodenwärme, besonders der oberflächlichsten Schicht, die die Luftwärme bedeutend übersteigt, zu Tage.

Nach Martius waren die gleichzeitigen Temperaturverhältnisse von Luft und Boden am Faulhorn und in Brüssel folgende:

Temperatur um 9 h. Morgens, 10.—18. Aug. 1842.

Ort	Höhe	Luft	Bodenoberfläche
Faulhorn	2680 Meter	8,2	16,2
Brüssel	50 „	21,4	20,1

Die Temperatur des Bodens auf dem Faulhorngipfel war also nur um 4° niedriger als die von Brüssel, während die Luftwärme einen Unterschied von mehr als 13° zeigt. Die mittlere Schattentemperatur der Luft auf dem Faulhorn war 6,7, die der Bodenoberfläche 9,5 und in 1 Decimeter Tiefe 10,0°. Das mittlere Maximum

1) Schmid, Lehrbuch der Meteorologie. 1860. S. 135.

der Luftwärme war 9,0°, das der Bodenoberfläche 19,5°. Nach Beobachtungen vom 21. September bis 4. October 1844 war die mittlere Temperatur der Luft 5,4, die des Bodens aber 11,8° C.

Die Beobachtungen desselben Forschers über Luft- und Bodenwärme auf dem Gipfel des Pic du Midi 2877 Meter und zu Bagnères in 551 Meter (horizontale Entfernung blos 14½ Km.) während der drei ganz heiteren Tage des 8., 9. und 10. Sept. 1864 ergaben folgende Befunde:

	Bagnères	Pic du Midi	Differenz
Mittlere Temperatur der Luft . . .	22,3	10,1	12,2
„ „ des Bodens . .	36,1	33,8	2,3

Die Temperatur des Bodens (in beiden Fällen die gleiche Bodenart, schwarze Moorerde aus alten Weidenstämmen) in 5 Cm. Tiefe war zu Bagnères 25,5°, also um 3,2° höher als die Lufttemperatur, auf dem Pic du Midi 17,1°, somit um 7,0° höher als die Luftwärme. Die Erwärmung des Bodens auf dem Pic du Midi war demnach bis zu mehreren Centimetern Tiefe ca. 2mal grösser als in dem 2326 Met. tiefer liegenden Bagnères. Die absoluten Maxima der Temperatur waren:

Bagnères,	9. Sept.	2 h. p. m.:	Boden 50,3,	Luft 27,1.
Pic du Midi,	10. „	11½ h. a. m:	„ 52,3,	„ 13,2.

Da sich der Pic du Midi gegen Mittag stets in Wolken hüllte, wurde das Maximum der Bodenwärme schon vor Mittag erreicht und war 2° höher als das zu Bagnères.

Durch hohe Bodenwärme und grosse Intensität des Lichtes unterscheidet sich das Klima der Gebirge vortheilhaft von jenem der Polargegenden bei gleicher Luftwärme.

Die Verdünnung der Luft und die Abnahme des Wasserdampfgehaltes derselben mit der Höhe bedingt aber neben der intensiveren Insolation bei Tag auch eine intensivere Wärmestrahlung bei Nacht. Vergleichende Messungen der Wärmestrahlung zu Brienz und auf dem 2110 Meter hohen Faulhorngipfel mit Pouillet's Actinometer ergaben eine 37 % grössere Wärmestrahlung auf letzterem Punkte; eine solche ausgeführt gleichzeitig zu Chamounix und auf dem Grand Plateau des Montblanc (3930 Meter) ergaben auf diesem 2880 Meter höher liegenden Punkte eine beinahe doppelt so starke Wärmeausstrahlung (um 93 % grösser). Die Temperatur des Schnees auf dem Grand Plateau sank in den Nächten vom 28.—31. August (1844) auf —19,2°, während die Lufttemperatur noch —6,5° betrug.

Auf isolirten, hohen oder freien Ebenen ist die Ausstrahlung wirksamer als in Thalfurchen und Bodeneinsenkungen.

Nach L. v. Buch ist zu St. Cruz und Funchal auf Teneriffa die Nachtkühlung gering, da diese Orte von nahen, zum Theil steilen Höhen beherrscht werden. Dagegen auf der eine halbe deutsche Quadratmeile weiten Ebene von Laguna erkaltet die Bodenoberfläche im Winter bis unter den Gefrierpunkt. Man hat daher auf dieser Ebene wohl messerrückendickes Eis, obwohl niemals Schneefall. Die Eisbildung geht hier gar nicht von der Atmosphäre aus, sondern von der unter die Temperatur der Atmosphäre abgekühlten Bodenoberfläche [1]).

Nach den Beobachtungen Daniell's ergab in London die Erkaltung des Bodens durch Strahlung als mittleres Maximum (monatlicher Durchschnitt 1,9—3,4 ° C. als absolutes Maximum 5,56 bis 9,44 ° C.) (Juni) bei mittlerer Lufttemperatur von 0,33—11,61 ° C. Es ging aus diesen Beobachtungen hervor, dass mit Ausnahme von Juli und August die Temperatur der Bodenoberfläche während des ganzen Jahres unter den Gefrierpunkt sinken und sich demselben selbst im Juli und August bis auf 3 ° C. nähern kann.

In der Tropenzone betrug nach Sabine die durch Strahlung hervorgerufene Abkühlung

In Bahia bei Lufttemperaturen (Tagestemperaturen, keine Mittelwerthe) von 17,8—22,2 ° C. . . . . . . 0,6—5 ° C.
Auf Jamaica am Meeresufer bei Lufttemperaturen von 24,4 ° C. . . . . 2,2—6,4 ° C.
Auf Jamaica in 4000′ Höhe bei Lufttemperaturen von 17,2—18,3 ° C. . . . . 5—10 ° C.

Auch für den Schnee ist die durch Ausstrahlung bewirkte Abkühlung von Boussingault, Bravais und Martin constatirt, von Weyprecht [2]) auf der Insel Wilczek bei ausserordentlich niedrigen Temperaturen bestätigt.

Die Ergebnisse seiner Versuche lauten:

	Thermometer		Wirkung der Strahlung
	offen	bedeckt	
14. Dec. 1873 2 h. p. m.	— 45,7	— 42,2	— 3,7
15. = = 8 h. a. m.	— 41,4	— 39,1	— 2,3
16. = = 8 h. a. m.	— 45,6	— 42,5	— 3,1
29. = = 0 h.	— 34,6	— 32,7	— 1,9
16. Jan. 1874 8 h. a. m.	— 48,4	— 46,0	— 2,4
16. = = 0 h. a. m.	— 46,0	— 44,6	— 1,4
7. Febr. = 4 h. p. m.	— 41,9	— 40,2	— 1,7
15. = = 0 h.	— 45,7	— 43,4	— 2,3
16. = = 2 h. a. m.	— 47,7	— 43,4	— 4,3
14. März = 8 h. a. m.	— 43,9	— 44,6	+ 0,7 [3])
15. = = 8 h. a. m.	— 46,4	— 46,0	— 0,4

1) Schmid, Meteorologie. 2) Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteorol. XII.
3) Hier wahrscheinlich die das Thermometer deckende Schneeschichte zu hoch.

Die in der Atmosphäre hervortretenden Schwankungen nach Tages- und Jahreszeiten, sowie auch nach grösseren, selbst säcularen Perioden, die zum grossen Theil durch die wechselnde Stellung der Erde zur Sonne bedingt sind, müssen selbstverständlich sich auch im Boden, speciell an der Bodenoberfläche etabliren; es verdient die Bodenoberfläche hierbei eine gesonderte Betrachtung, weil in ihr, wie bereits hervorgehoben, hauptsächlich die beiden Vorgänge der Strahlung und der Wärmeabsorption entsprechend der Wärmecapacität mitspielen, während in den tieferen Schichten die Strahlung eliminirt erscheint und statt dieser ein neuer Factor, das Wärmeleitungsvermögen, in dominirender Weise in Action tritt.

a) Tagesperiode der Temperatur der Bodenoberfläche.

Fassen wir zunächst den Ablauf der täglichen Schwankungen ins Auge, die Tagesperiode. Wild[1]) hat hierzu die Beobachtungen Dohrandt's in Nukuss am Amu-Darja (Westsibirien) (42° 27′ N. B., 59° 37° E. L. von Greenwich, 70 Meter hoch gelegen. Temperaturmittel: Januar —7,1, April 9,4, Juli 25,5, Oct. 10,0, Jahr 9,4) und die von Neumayer in Melbourne[2]) (37° 49′ S. B., 144° 59′ E. L., 28 Meter Seehöhe. Temperaturmittel: Jan. 19,1, April 14,8, Juli 8,7, Oct. 13,8, Jahr 14,1) verwerthet. Es wurden in Nukuss durch 11½ Monate hindurch Tag und Nacht zweistündige Messungen der Temperaturen der obersten Bodenschichten 0,00, 0,05, 0,10 und 0,20 Meter, in Melbourne in der Tiefe von 0,00 Meter vorgenommen. Bei der Bestimmung der Bodentemperatur in der Bodenoberfläche (nicht zu verwechseln mit der an der Bodenoberfläche) lag das Thermometer horizontal auf der Erde, wobei sein Gefäss mit einer dünnen Lehmschicht bedeckt erhalten wurde. Der Boden in Nukuss bestand ganz gleichmässig aus trockenem, sandigem Lehm, in welchem man in einer Tiefe von 4,5 Metern auf Grundwasser stiess.

Die Nebeneinanderstellung dieser beiden Orte hat den Vortheil dass man hier je einen Repräsentanten des Landklimas (Nukuss) und des Seeklimas (Melbourne) vor sich hat, wie dies schon aus den beigegebenen Temperaturmitteln hervorgeht.

Was wir sofort aus den beiden auf S. 143 befindlichen Zahlenreihen erfahren, ist die Thatsache, dass in den obersten Bodenschichten, in der Bodenoberfläche die täglichen Varia-

1) Wild, Ueber die Bodentemperaturen in St. Petersburg und Nukuss. Repertorium f. Meteorologie. VI. 2) G. Neumayer, Discussion on the meteorological and magnetical observations, made at the flagstaff observatory Melbourne during the years 1858—1863. Mannheim 1867.

tionen ausserordentlich bedeutend sind, die der Luft (und auch der tieferen Bodenschichten) weit übertreffend. Der Betrag des täglichen Minimums der Lufttemperatur und der Bodenoberflächentemperatur ist wohl nahezu derselbe (5,38 und 5,16 in Nukuss, 10,84 und 10,75 in Melbourne), dagegen ist das Temperaturmaximum in Nukuss fast doppelt so gross als das der Luft, in Melbourne ca. eineinhalbmal so gross. In Folge dessen sind auch die Amplituden, die Differenzen in den täglichen Temperaturschwankungen der Bodenoberfläche unter einander weit bedeutender (an 2½ mal so gross in Nukuss, doppelt so gross in Melbourne) als die der Luft unter einander.

Aus den Details der Beobachtungen geht sodann hervor, dass in der Tiefe von 0,00 Metern das Minimum der Bodentemperatur fast in allen Monaten genau mit dem Sonnenaufgange eintritt, also zur selben Zeit, wo auch die Temperatur der Luft ihr Minimum hat. Mit dem Aufgehen der Sonne, der Insolation muss aber die Temperatursteigerung im Boden beginnen, also das Mini-

Tagesperiode der Temperatur in Nukuss.

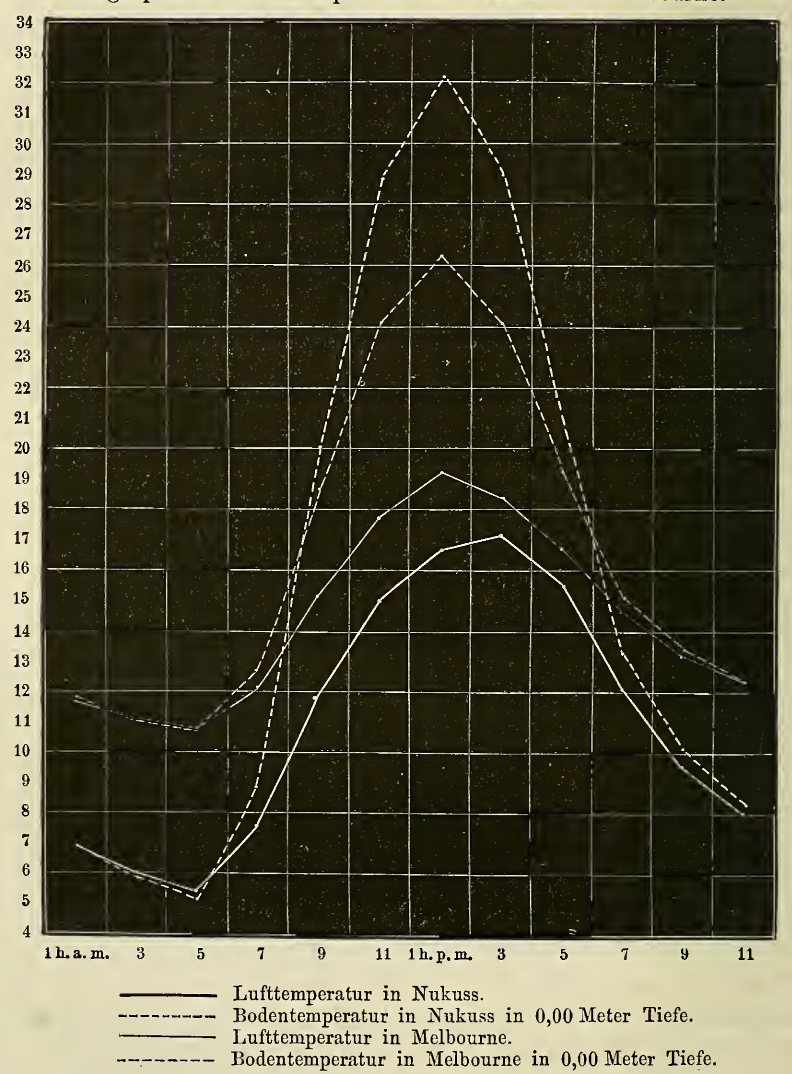
Tageszeit	1 h. a. m.	3	5	7	9	11	1 h. p. m.	3	5	7	9	11	Mittel
Lufttemperatur	6,86	6,01	5,38	7,60	11,81	14,99	16,69	17,13	15,52	12,12	9,48	8,03	10,97
Bodentemperatur in der Tiefe von 0,00 Metern	6,94	5,85	5,16	8,91	19,59	28,76	32,23	29,01	21,00	13,32	10,11	8,26	15,76
Differenz zwischen Luft- u. Bodentemperatur	0,08	—0,16	—0,22	1,31	7,78	13,77	15,54	11,88	5,48	1,20	0,63	0,23	4,79

Tagesperiode der Temperatur in Melbourne.

Tageszeit	1 h. a. m.	3	5	7	9	11	1 h. p. m.	3	5	7	9	11	Mittel
Lufttemperatur	11,62	11,11	10,84	12,13	15,12	17,67	18,72	18,44	16,75	14,59	13,29	12,35	—
Bodentemperatur in der Tiefe von 0,00 Metern	11,68	11,04	10,75	12,74	18,56	24,13	26,32	24,14	19,21	15,03	13,41	12,40	—
Differenz zwischen Luft- u. Bodentemperatur	0,06	—0,07	—0,09	0,61	3,44	6,44	7,60	5,70	2,46	0,44	0,12	0,05	—

mum überschritten werden, das **Maximum** der Bodentemperatur fällt auf 1 h. p. m., also bedeutend früher, im Mittel um 1 Stunde

Fig. 5.
Tagesperiode der Temperatur in Nukuss und Melbourne.



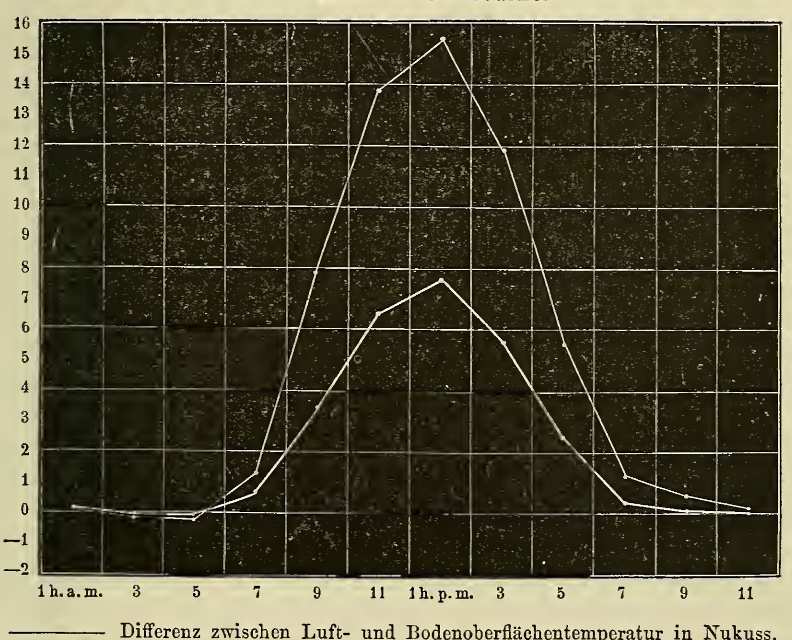
früher, als dies in der Luft geschieht. Die Bodenoberfläche, die durch Strahlung so stark erwärmt wurde, deren Temperatur die der Luft so sehr übertrifft, wird dieser noch Wärme mittheilen können, wenn

er bereits seine höchste Temperatur überschritten hat; die Luft erwärmt sich nach einiger Zeit an dem viel höher temperirten Boden und erreicht ihr Maximum dementsprechend viel später.

Da die Minima der Luft- und Bodentemperatur mit einander so ziemlich übereinstimmen und die Differenzen erst bei den höheren Temperaturen sich zeigen, so bietet die Curve, die die Temperaturdifferenzen zwischen Luft- und Bodentemperatur ausdrückt, ganz denselben typischen Gang, wie die Curve der Luft- resp. Bodentemperatur allein, nur mit einer entsprechenden Verflachung der Oscillationen.

Fig. 6.

Differenz zwischen Luft- und Bodenoberflächentemperatur in Nukuss und Melbourne.



———— Differenz zwischen Luft- und Bodenoberflächentemperatur in Nukuss.
———— = = = = = = = Melbourne.

Dass es sich bei diesem täglichen Rhythmus in den Temperaturschwankungen, der mit dem wechselnden Stande der Sonne im Zusammenhang steht, nicht um locale Eigenthümlichkeiten handelt, lässt sich aus der Uebereinstimmung ersehen, die zwischen Nukuss und Melbourne herrscht (Curve 5 und 6), beide diese Orte, klimatisch wie geographisch so verschieden, besitzen fast identische tägliche Schwankungen, nur sind die in Melbourne, entsprechend

der grossen Gleichmässigkeit des maritimen Klimas, viel weniger excessiv (vergl. S. 135).

b) Jahresperiode der Temperatur der Bodenoberfläche.

Die grossen Differenzen in den Temperaturverhältnissen des Bodens in 0,00 Meter und jenen der Luft treten auch bei Betrachtung der Jahresschwankungen zu Tage, besonders wenn man die jeweiligen monatlichen Minima und Maxima in den Vergleich stellt (s. S. 147).

Das Resultat dieses Vergleichs ist ganz analog dem bei der Tagesperiode angestellten, besonders soweit sich die Schwankungen in den Amplituden auszudrücken vermögen. Characteristisch ist wieder das wechselseitige Verhalten von Melbourne und Nukuss. Trotzdem, wie bemerkt, Melbourne in Folge seiner geographischen Lage auf der südlichen Hemisphäre und seines maritimen Klimas Temperaturverhältnisse besitzt, die denen von Nukuss (auf der nördlichen Hemisphäre und mit continentalem Klima) fast diametral entgegengesetzt sind — die Schwankungen in Melbourne sind viel geringer und bewegen sich in entgegengesetzter Reihenfolge —, ist doch das wechselseitige Verhältniss zwischen der Temperatur der obersten Bodenschicht und der der Luft in beiden Fällen fast identisch. In beiden Fällen sind die Minima der Temperatur für Boden und Luft unter einander fast vollkommen gleich und müssen also auch in dieselben Monate fallen (in Nukuss December, Januar, Februar, in Melbourne Juni, Juli, August). Dagegen sind die Unterschiede in den Zahlen für die Temperaturmaxima höchst bedeutend. Der Boden erreicht auch in dieser Periode in Nukuss eine bis 2½ mal so hohe Temperatur als die Luft, in Melbourne eine 1½ mal so hohe.

Einen ganz scharfen Ausdruck finden diese Verhältnisse in jener Zusammenstellung, die die Amplituden der Lufttemperatur mit denen der Bodentemperatur in Vergleich setzt (die dritte Reihe unserer Tabellen, Fig. 7). Sie zeigt, in welchem Maasse die strahlende Wärme der Temperatur unseres Erdbodens zu gute kommt; auch hier tritt übrigens, so weit es sich um Nukuss handelt, in den Maximis der Lufttemperatur jene Verzögerung ein, die wir bereits bei den täglichen Schwankungen beobachtet haben. Während nämlich die Amplitudencurve in der Bodentemperatur nach erreichtem Maximum im September sofort rapid absinkt, erfolgt dieses Absinken bei der Amplitudencurve der Luft bis zum November viel allmählicher, um erst von da an einen etwas rascheren Verlauf anzunehmen.

Jahresschwankungen der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss.

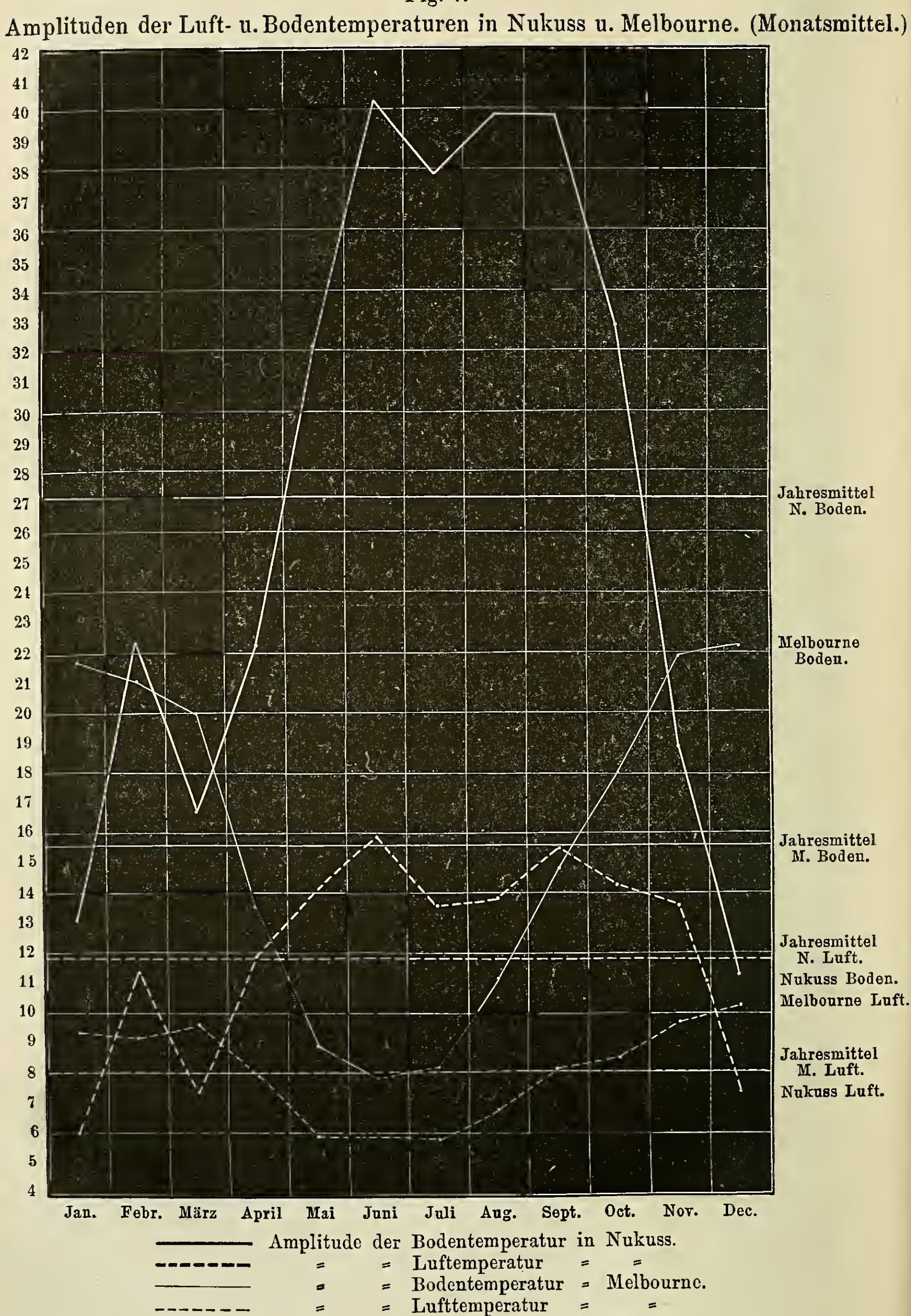
		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Lufttemperatur	Minimum	— 5,85	—10,60	−0,56	8,09	12,22	13,60	19,39	16,01	11,52	0,49	−0,39	−2,24	5,38
	Maximum	+0,27	0,85	6,72	19,83	26,28	29,95	32,95	29,77	27,05	14,78	13,22	5,11	17,19
	Differenz (Amplitude)	6,12	11,45	7,28	11,77	14,07	16,44	13,63	13,76	15,53	14,29	13,61	7,35	11,82
Bodentemperatur in 00,0 Mt. Tiefe	Minimum	— 5,9	—10,7	—0,7	7,4	12,0	13,4	19,3	15,1	10,3	3,0	—1,2	—2,1	5,15
	Maximum	+7,2	11,7	16,0	29,6	44,2	53,7	57,1	54,9	50,1	35,8	17,6	9,3	32,25
	Differenz (Amplitude)	13,1	22,4	16,7	22,2	32,2	40,3	37,8	39,8	39,8	32,8	18,8	11,4	27,10

Jahresschwankungen der Luft- und Bodentemperatur in Melbourne.

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
Lufttemperatur im Schatten	Minimum . . .	15,44	14,41	13,93	11,24	9,56	7,25	6,27	7,32	8,28	10,28	11,90	13,19	10,83
	Maximum	24,87	23,62	23,53	19,15	15,48	13,16	12,07	14,15	16,36	18,82	21,47	23,35	18,81
	Differenz (Amplitude)	9,43	9,21	9,60	7,91	5,92	5,91	5,80	6,83	8,08	8,54	9,57	10,16	7,98
Bodentemperatur in 0,00 Mt. Tiefe	Minimum	15,34	14,78	14,31	11,06	9,02	6,80	5,77	7,08	7,57	10,22	12,22	13,58	10,76
	Maximum	36,99	35,88	34,28	24,58	17,90	14,63	14,00	18,14	22,43	28,22	34,12	35,78	26,33
	Differenz (Amplitude)	21,65	21,10	19,97	13,52	8,88	7,83	8,23	11,08	14,86	18,00	21,90	22,20	15,57

Fig. 7.

Amplituden der Luft- u. Bodentemperaturen in Nukuss u. Melbourne. (Monatsmittel.)



B) Erwärmung der tieferen Bodenschichten.

Hygienisch kommt jedoch nicht blos die Bodenoberfläche und ihre Temperatur in Betracht, es ist wahrscheinlich, dass sich manche, hygienisch wichtige Vorgänge auch in einer bestimmten Bodentiefe abspielen, erfolgt ja auch die Bestattung der Leichen erst in einer bestimmten Tiefe. Die Temperatur dieser Bodenschichten hat aber wieder ihren besonderen Rhythmus, der weder mit dem der Bodenoberfläche noch mit dem der Luft übereinstimmt, und der hauptsächlich durch das jeweilige Wärmeleitungsvermögen des Bodens bedingt ist, wenn auch die Wärmecapacität hierbei noch ihren Einfluss geltend macht.

Das Wärmeleitungsvermögen, d. i. jene Eigenschaft, nach welcher in einem Körper, dessen verschiedene Theile verschiedene Temperaturen haben, Wärme von den heisseren Theilen nach den benachbarten kälteren abfliesst, ist streng genommen ein doppeltes, ein inneres, auf den Körper selbst sich beziehendes, und ein äusseres, das aus der Wechselbeziehung zwischen Körper und Umgebung seinen Ursprung nimmt.

Als das Maass des inneren Leitungsvermögens betrachten wir jene Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit eines Körpers hindurchgeht, wenn zwei in der Entfernungseinheit von einander befindliche Querschnitte eine constante Temperaturdifferenz (von 1° C.) haben.

Das äussere Wärmeleitungsvermögen bedeutet dagegen jene Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Einheit der Oberfläche eines Körpers in ein Mittel übergeht, wenn der Körper und seine Umgebung eine constante Temperaturdifferenz von 1° haben.

Um eine Beurtheilung der Wärmewanderung nach der Tiefe hin zu ermöglichen und um wieder die Bedeutung der Porosität des Luft- und Wassergehalts zu illustrieren, sei hier das Wärmeleitungsvermögen einiger in die Zusammensetzung des Bodens eintretender Körper angeführt, und zwar die absolute Leitungsfähigkeit (k), welche ausgedrückt wird durch jene Wärmeeinheiten (Calorigramme), welche in der Zeit von 1 Minute durch den Querschnitt von 1 □ Cm. hindurchgehen, vorausgesetzt, dass in einem um 1 Cm. vom ersten entfernten Querschnitte die Temperatur um 1° C. niedriger ist; und sodann die relative Leitungsfähigkeit bezogen auf die Wärmeleitungsfähigkeit a) des Wassers als Einheit oder b) der Luft als Einheit (s. die Tabelle auf folgender Seite).

Less[1]) hat auch die relative Leitungsfähigkeit verschiedener

1) Poggend. Annal. Ergänzung. Bd. VIII. 1878.

Material	Absolute Leitungsfähigkeit	Relative Leitungsfähigkeit		
		A) Wasser[1]) = 1,000		B) Luft = 1,000
Wasser .	0,00156—0,00124	1,000	1,000	26,530—21,088
Eis . .	0,00573	3,673	4,621	97,449
Luft .	0,0000588	0,0376	0,0474	1,000
Kupfer	0,4108—0,8190	263,333—525,000	331,290—660,483	6986,3—13928,5
Eisen. .	0,1469—0,1665	94,165—106,730	118,469—134,252	2498,3— 2831,6
Blei . .	0,0716—0,0836	45,897— 53,589	57,742— 67,418	1217,6— 1421,7

Bodenarten und Hölzer bestimmt, von dem Marmor als Einheit ausgehend. Er fand folgende Schwankungen:

Marmor	1000—763	Serpentin	676
Sächsischer Granit	804	Gneiss von Tharandt . . .	673
Basalt, sehr compact . . .	726	Tafelschiefer von Karlsbad .	573
Sandstein, sehr feinkörnig .	721	Sandstein, röthlich, sehr porös	487
Granit	713	Thonschiefer	469
Sandstein, sehr kreidehaltig	701	Sandstein mit Crobincement .	420
Rother Gneiss	696	Thon	275
Nephelinbasalt	690		

Leider fehlen die Zahlen für das absolute Leitungsvermögen, um diese Angaben mit der oberen Tabelle in Beziehung bringen zu können. Wir sehen aber schon, dass die Schwankungen im trockenen Boden keine allzugrossen sind, da sie nicht über das 3,5fache hinausgehen.

Höchst wichtige Gesichtspunkte eröffnet aber wieder das Verhalten der Leitungsfähigkeit des Wassers zu der der Luft. Das Wasser leitet die Wärme 21—26 mal besser als die Luft. Daraus geht nun wieder hervor, wie sehr in einem porösen Boden die Wärmeleitungsfähigkeit durch die Anwesenheit des Wassers überhaupt und durch dessen quantitativen Verhältnisse beeinflusst werden wird.

Dieser Umstand wird für das Eindringen der Oberflächentemperaturen in der Tiefe seine grosse Bedeutung haben.

Wir haben es nämlich in unserer Tabelle mit Bodenarten zu thun, die in Form von compacten Fragmenten untersucht worden waren. In der Natur bestehen jedoch gerade die obersten Bodenschichten aus kleinen, vielfach durch Hohlräume getrennten Partikeln. Es handelt sich da um einen porösen, von Luft erfüllten Boden. Dadurch nun, dass in die Zusammensetzung des Bodens ein Körper

1) Entsprechend den beiden extremen Werthen für Wasser (0,00156 Lundquist und 0,00124 Weber), die als Vergleichsobject dienen, erhalten wir hier eine Doppeltabelle.

mit einem so ausserordentlich geringen Wärmeleitungsvermögen eintritt, muss sich die Leitung der gesammten Bodenmasse wesentlich vermindern.

Wir finden hierfür einen Beleg in den Zahlen, die Peclet für das Wärmeleitungsvermögen von Körpern gefunden hat, die er in pulverförmigem Zustande untersucht hat, sowie von Körpern, die an und für sich ausserordentlich porös sind.

Wenn auch die von ihm gefundenen Werthe für das absolute Leitungsvermögen, wie spätere Untersuchungen gelehrt haben, nicht als richtig angesehen werden können, so ist doch ein Vergleich derselben untereinander zulässig.

Peclet[1]) fand für nicht homogene Körper folgende Werthe:

Marmor	3,130	(100)	Kreidepulver . . .	0,094	(3,0)
Kalkstein . . .	1,823	(58,2)	Holzasche	0,066	(2,1)
Gyps	0,430	(13,7)	Baumwolle	0,040	(1,2)
Gebrannte Erde .	0,600	(19,1)	Wolle	0,044	(1,3)
Quarzsand . . .	0,270	(8,6)	Flaum	0,039	(1,2)
Gestossener Ziegel[2])	0,152	(4,8)	Leinenzeug	0,052	(1,6)

Je lufthaltiger das Material ist, desto geringer ist dessen Wärmeleitungsvermögen. Sind ja doch die einzelnen Partikel des Bodens allenthalben von Luftschichten umgeben, die förmlich als Isolatoren wirken müssen. Auch aus den Untersuchungen Pott's[3]) geht hervor, dass lockerer Boden die Wärme weniger gut leitet als fester, und dass lufttrockene Materialien mit der Abnahme ihres Feinheitsgehaltes oder mit dem grösseren Gehalt an compacten Steinen eine Zunahme ihrer Wärmeleitungsfähigkeit erfahren. Die Folgen dieser grösseren Leitungsfähigkeit des dichteren, trockenen Bodens gegenüber dem lockeren, trockenen äussern sich in durchschnittlich höherer Temperatur, die ersterer während der wärmeren Jahreszeit und bei warmer Witterung annimmt, andererseits in der grösseren Abkühlung desselben während der kälteren Jahreszeit und bei plötzlich starker Temperaturveränderung. Die Temperaturschwankungen werden also in trockenem, dichten Boden rascher weiter geleitet werden und einen höheren Grad erreichen, als in trockenem, lockeren, besonders da sich durch die verschieden dichte Lagerung die Wärmecapacität nicht bedeutend ändert.

---

1) Traité de la chaleur. II. éd.

2) Despretz hat für Ziegelsteine in toto das relative Leitungsvermögen bestimmt. Wenn wir dessen Versuchsergebnisse mit denen von Peclet vergleichen dürfen, so ist, das Wärmeleitungsvermögen des Marmors = 100 gesetzt, das des Ziegelsteins = 48,3, also 10 mal so gross, als das der gestossenen Ziegel.

3) E. Pott, Landwirthschaftl. Versuchsstationen. XX.

Tageszeit	1 h. a.m.	3	5	7	9	11	1 h. p.m.	3	5	7	9	11	Mittel
Lufttemperatur	6,86	6,01	5,38	7,60	11,81	14,99	16,69	17,13	15,52	12,12	9,48	8,03	10,97
Bodentemperatur in der Tiefe von 0,00 Meter	6,94	5,85	5,16	8,91	19,59	28,76	32,23	29,01	21,00	13,32	10,11	8,26	15,76
" " " " 0,05 "	10,99	9,75	8,75	8,70	10,59	13,58	16,46	18,42	19,09	17,47	14,73	12,61	13,43
" " " " 0,10 "	12,68	11,52	10,52	9,94	10,78	12,86	15,16	16,88	17,75	17,25	15,71	14,09	13,76
" " " " 0,20 "	14,58	13,93	13,28	12,72	12,31	12,35	12,89	13,79	14,78	15,45	15,56	15,18	13,90
" " " " 0,40 "	14,53	14,65	14,62	14,51	14,39	14,27	14,16	14,08	14,06	14,14	14,25	14,39	14,34

Der Wassergehalt bringt wieder eine wesentliche Aenderung aller dieser Verhältnisse hervor, sobald es sich um einen porösen Boden handelt. Das Wasser hat zwar auch nur ein geringes Wärmeleitungsvermögen, ein geringeres, als die meisten compacten Steine, dagegen aber ein weit höheres, als das der Luft ist und deshalb hat auch Littrow[1]), der die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener, meist pulverförmiger, also sehr lufthaltiger Bodenarten bestimmte, die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers höher gefunden, als bei den untersuchten Bodenarten, trotzdem nach unserer Tabelle die Wärmeleitungsfähigkeit compacter Gesteine höher ist als die des Wassers. Abermals sehen wir also in diesem Verhalten den Einfluss der physikalischen Beschaffenheit, insofern sie den Luft- und Wassergehalt des Bodens bedingt oder beeinflusst.

a) Tagesperiode der Temperatur der tieferen Bodenschichten.

Es sei wieder von den bereits discutirten Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse in Nukuss ausgegangen, und zwar zuvörderst von jenen Beobachtungen, die sich auf die Tiefe von 0,00, 0,05, 0,10, 0,20 und 0,40 Meter erstrecken.

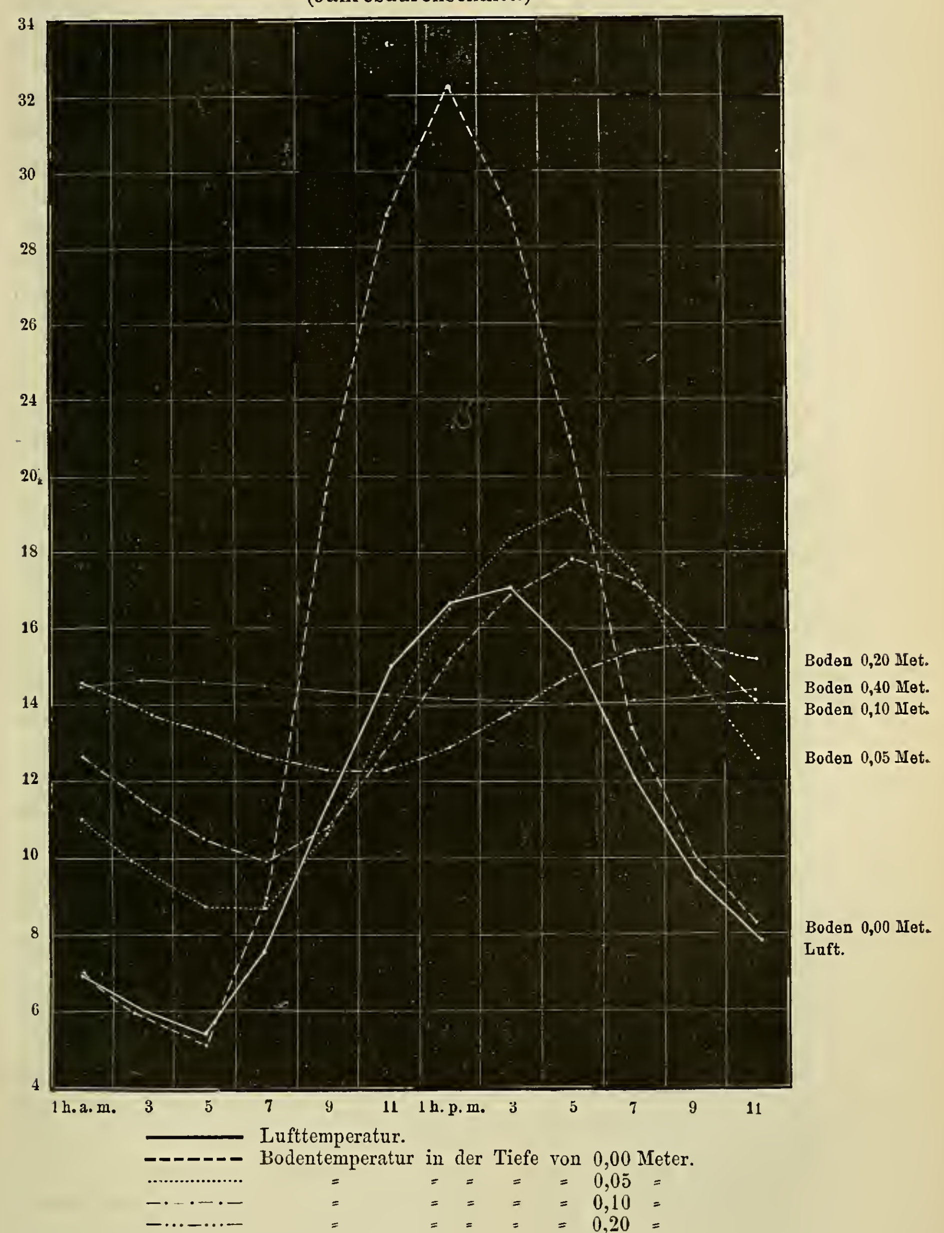
Die tägliche Periode der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss war in den verschiedenen Tiefen wie nebenstehend angegeben.

Aus diesen Zahlen und noch deutlicher aus der graphischen Darstellung (Fig. 8, S. 153) geht hervor, wie die Tagesschwankungen von der Oberfläche gegen die Tiefe zu an Intensität abnehmen und wie gleichzeitig eine Verschie-

1) Littrow, Ueber die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Bodenarten und den betreffenden Einfluss des Wassers. Sitzungsbericht der k. k. Akad. der Wissensch. in Wien. 1875. VII. Bd.

Fig. 8.

Tägliche Periode der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss 1874/75.
(Jahresdurchschnitt.)



bung der Temperaturcurven eintritt. Das Maximum der Oscillationen, die Amplitude, sinkt von 27,07° (0,00 Mt.) auf 10,39 (0,05 Met.), 7,81 (0,10 Met.), 3,25 (0,20 Met.) und 0,59° (0,4 Met.). Die Eintrittszeit des Minimums verschiebt sich von 5 h. Morgens (0,00 Met.) auf 7 h. (0,05 u. 0,10 Met.), 9 h. (0,2 Met.) und bei 0,04 Met. gar auf 5 h. Nachm. Das Maximum wandert von 1 h. Nachm. (0,00 Met.) auf 5 h. (0,05 u. 0,10 Met.), 9 h. (0,20 Met.) und 3 h. Morgens (0,40 Met.).

Nukuss, Monatsmittel der Temperatur des Erdbodens.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr	Amplitude
Lufttemperatur	— 6,44	— 4,33	5,37	15,01	20,60	23,70	26,84	24,05	19,72	10,53	1,69	—4,60	11,01	33,28
Bodentemperatur in 0,00 Mt. Tiefe 1875	— 1,69	— 2,70	5,30	16,76	25,35	30,50	34,71	31,66	25,83	15,81	8,28	—1,05	15,73	37,41
„ „ 0,10 „ „ „	—3,95	— 2,25	6,78	15,78	22,86	26,86	29,94	27,18	21,85	12,31	3,33	—2,63	13,17	33,89
„ „ 0,20 „ „ 1875—77	— 2,59	— 1,79	6,63	15,19	22,25	26,04	29,36	27,19	22,33	13,41	4,62	—0,89	13,48	31,95
„ „ 0,40 „ „ „	— 0,22	— 0,35	6,69	14,81	21,84	25,84	29,31	27,72	23,45	16,02	7,50	2,16	14,56	29,53
„ „ 0,80 „ „ „	4,43	2,90	6,75	12,72	18,88	22,69	26,29	26,27	23,46	18,59	12,02	7,18	15,18	23,39
„ „ 1,60 „ „ „	9,65	7,48	7,79	10,50	14,48	17,75	20,84	22,44	21,91	19,77	15,96	12,02	15,05	14,96
„ „ 2,80 „ „ „	13,31	11,75	10,78	10,97	12,20	13,88	15,63	17,20	18,02	18,01	16,96	15,12	14,49	7,24
„ „ 4,00 „ „ „	14,37	13,46	12,55	12,03	12,15	12,81	13,68	14,64	15,45	15,93	15,93	15,36	14,03	3,90

b) Jahresperiode der Temperatur der tieferen Bodenschichten.

Aehnliche Erfahrungen machen wir, wenn wir die Jahresperiode, wie sie durch Aneinanderreihung der Monatsmittel gewonnen wird, in Betracht ziehen.

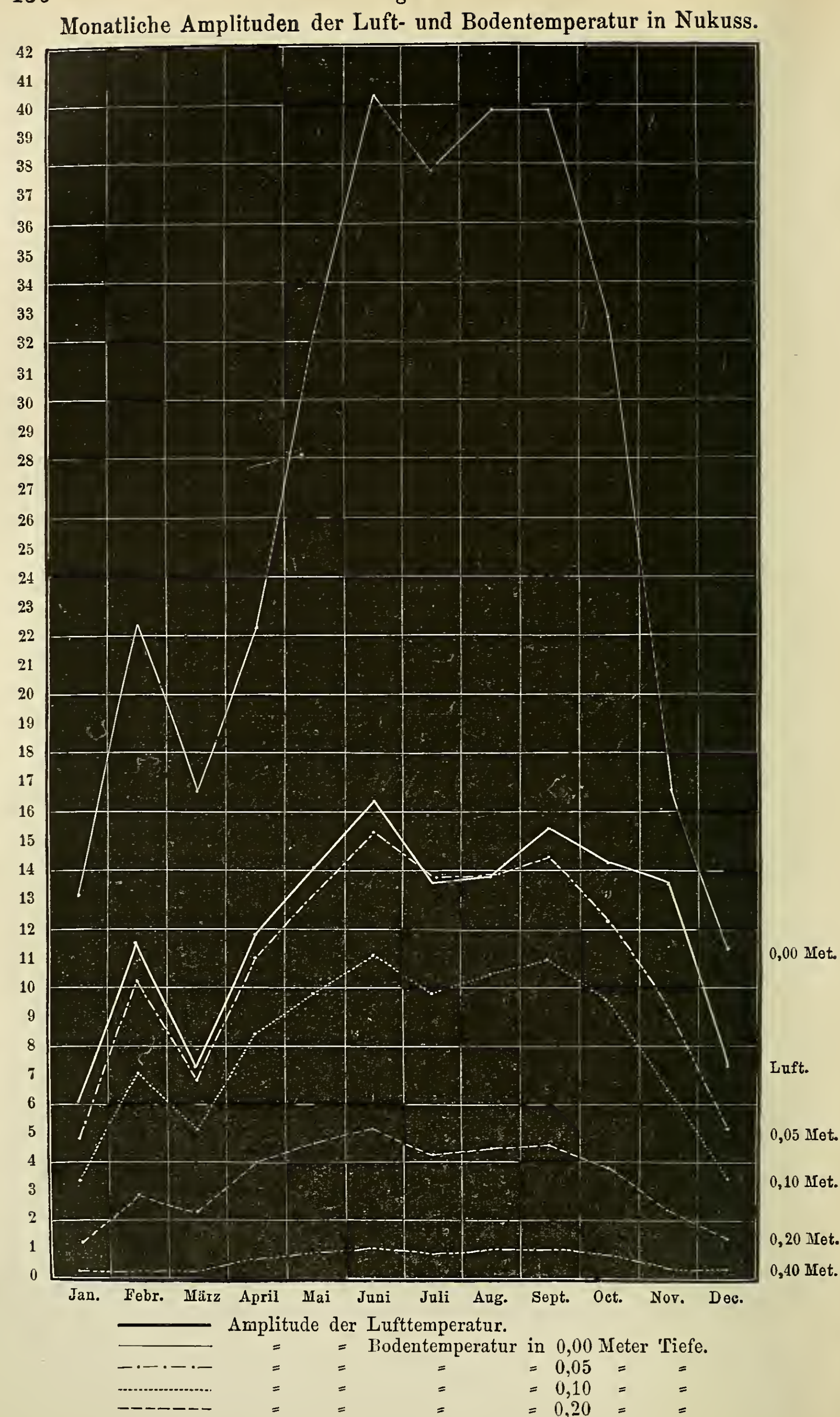
Die Beobachtungen in Nukuss erstrecken sich bezüglich der Jahresperiode bis zu einer Tiefe von 4 Met.

Die mittlere Jahrestemperatur und auch die meisten mittleren Monatstemperaturen des Bodens bis zu einer gewissen Tiefe sind höher als die der freien Luft darüber, abermals ein Beleg, dass die Erwärmung der Luft in viel beträchtlicherem Maasse durch Mittheilung von der Erde aus, durch directe Absorption der Sonnenstrahlen erfolgt, dass ferner bei dem Erdboden die Wirkung der Einstrahlung resp. Absorption die der Ausstrahlung überwiegt, und dass eine daraus zu folgernde fortgesetzte Steigerung der Temperatur des Erdbodens nur

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
Minima	Luft	−5,85	−10,60	−0,56	8,09	12,22	13,60	19,39	16,01	11,52	9,49	−0,39	−2,24	5,38
	Bodentiefe 0,00 Meter	−5,9	−10,7	−0,7	7,4	12,0	13,4	19,3	15,1	10,3	3,0	−1,2	−2,1	5,15
	" 0,05 "	−3,8	−8,0	1,4	9,8	15,8	18,1	23,3	20,3	14,5	7,1	1,8	−0,3	8,5
	" 0,10 "	−2,8	−6,4	2,2	10,7	17,5	20,2	25,0	21,8	16,6	8,9	3,2	0,8	9,85
	" 0,20 "	−0,82	−3,70	3,36	12,25	19,65	22,96	27,12	24,80	20,00	12,42	5,75	2,80	12,24
	" 0,40 "	1,42	−0,90	4,29	12,74	20,67	25,35	29,07	27,39	22,88	12,51	8,11	5,10	14,06
Maxima	Luft	+0,27	0,85	6,72	19,83	26,28	29,95	32,95	29,77	27,05	14,78	13,22	5,11	17,19
	Bodentiefe 0,00 Meter	7,2	11,7	16,0	29,6	44,2	53,7	57,1	54,9	50,1	35,8	17,6	9,3	32,25
	" 0,05 "	1,0	2,2	8,3	20,8	28,9	33,4	37,1	34,1	29,0	20,0	11,0	4,8	19,15
	" 0,10 "	0,6	0,7	7,3	19,1	27,3	31,3	34,8	32,3	27,6	18,5	9,7	4,2	17,8
	" 0,20 "	0,34	−0,93	5,75	16,24	24,23	28,04	31,44	29,27	24,64	16,27	8,12	4,18	15,62
	" 0,40 "	1,59	−0,73	4,49	13,33	21,60	26,36	29,95	28,37	23,84	13,26	8,50	5,37	14,66
Amplitude (Differenz)	Luft	6,12	11,45	7,28	11,77	14,07	16,44	13,63	13,76	15,53	14,29	13,61	7,35	11,82
	Bodentiefe 0,00 Meter	13,1	22,4	16,7	22,2	32,2	40,3	37,8	39,8	39,8	32,8	18,8	11,4	27,1
	" 0,05 "	4,8	10,2	6,9	11,0	13,1	15,3	13,8	13,8	14,5	12,9	9,2	5,1	10,65
	" 0,10 "	3,4	7,1	5,1	8,4	9,8	11,1	9,8	10,5	11,0	9,6	6,5	3,4	7,95
	" 0,20 "	1,16	2,77	2,39	3,99	4,58	5,08	4,32	4,47	4,64	3,85	2,37	1,38	3,38
	" 0,40 "	0,17	0,17	0,20	0,59	0,93	1,01	0,88	0,98	0,96	0,75	0,39	0,27	0,60

Fig. 9.

Monatliche Amplituden der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss.



durch jene Mittheilung von Wärme an die kühlere Luft darüber aufgehoben wird.

Sodann sehen wir aber bei Betrachtung der letzten Verticalcolumne, dass die Grösse der Temperaturschwankungen gegen die Tiefe zu stetig abnimmt; in diesem Falle von 37,41° bei 0,00 Meter Tiefe bis zu 3,90° bei 4 Meter Tiefe, also um das 9fache.

Wir können diese, mit der Zunahme der Tiefe einhergehende Verminderung der Temperaturschwankungen auch nach Monaten zum Ausdruck bringen, wenn wir die jeweiligen Maxima und Minima der Monate zu einander in Beziehung bringen, mit einander vergleichen (s. S. 155) und den so gewonnenen Amplituden eine graphische Darstellung geben (Fig. 9); die Verflachung der Curven mit der Zunahme der Tiefe gibt ein anschauliches Bild über die Verminderung der Schwankungen, das der Erläuterungen nicht bedarf.

c) Das Fortschreiten der Wärme gegen die Tiefe.

Wild hat aus diesen Beobachtungen auch die Ableitung des Gesetzes, nach welchem die Leitung der Wärme nach abwärts erfolgt, vorgenommen. Es sei hier wenigstens theilweise darauf eingegangen, da sich aus diesen Erörterungen und Schlussfolgerungen manche für die Hygiene verwerthbare Momente ergeben.

α) Fortschreiten der Schwankungen der Tagesperiode.

Die Temperatur erfährt auf ihrem Gange von der Oberfläche in die Tiefe eine Verzögerung. Diese Verzögerung lässt sich am leichtesten bestimmen aus dem Zeitpunkte, in welchem in der betreffenden Bodenschicht das Minimum resp. Maximum der Bodentemperatur auftritt. Diese Differenzen und Eintrittszeiten waren bei den zweistündlichen Beobachtungen in Nukuss bis zur Tiefe von 0,2 Meter folgende (wie auf S. 158 angegeben).

Aus den Zahlen der jeweiligen letzten Columnen, wo die Verzögerungen der Eintrittszeiten in dem ganzen Intervall von der Oberfläche bis zu 0,2 Meter Tiefe aufgeführt sind, und den entsprechenden Curven (Fig. 10), ergibt sich für die Minima unter einander und ebenso auch für die Maxima eine von den kälteren Monaten zu den wärmeren ziemlich regelmässig anwachsende und dann wieder abnehmende Verzögerung nach der Tiefe hin. Die stärkere Verzögerung des Eintritts der Extreme während des Sommers bis zu 5 Stunden und 20 Minuten ist unstreitig die Folge des Umstandes, dass die warmen und trockenen Bodenarten die Wärme schlechter leiten als die kalten und feuchten (vergl. S. 151).

Differenzen der Eintrittszeiten:

Col. 1	2	3	4	5	6	7	8	9
	der Minima				der Maxima			
In Decimetern	Luft u. 0,0	0,0—1,0	1,0—2,0	0,0—2,0	Luft u. 0,0	0,0—1,0	1,0—2,0	0,0—2,0
	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.
Januar . . .	— 0 30	2 25	2 5	4 30	— 1 10	3 55	2 55	6 50
Februar . .	— 0 25	2 25	1 35	4 0	— 2	4 0	3 5	7 0
März . . .	— 0 10	2 10	2 15	4 25	— 1 55	4 20	2 40	7 0
April . . .	— 0 50	2 15	2 20	4 35	— 2	4 20	2 50	7 10
Mai	— 0 10	1 40	3 5	4 45	— 1 25	4 40	3 5	7 45
Juni . . .	— 0 50	2 5	3 10	5 15	— 1 25	5 15	2 25	7 50
Juli	— 0 00	1 55	3 25	5 20	— 1 20	4 55	2 40	7 35
August . . .	— 0 5	1 55	2 55	4 50	— 1 20	4 55	2 30	7 25
September .	— 0 26	2 5	2 30	4 25	— 1 20	4 20	2 45	7 5
October . .	— 0 10	1 45	2 0	3 45	— 1 40	4 20	2 50	7 0
November . .	— 0 00	1 50	1 20	3 10	— 1 35	4 20	2 15	6 35
December . .	— 0 00	0 10	1 45	3 55	— 1 5	3 45	3 0	6 45
Jahr . . .	— 0 5	2 20	2 45	5 5	— 1 25	4 15	2 45	7 0
Mittel d. Monate	—	2 3	2 22	4 25	—	4 26	2 45	7 10

Es scheint ferner das Wärmeleitungsvermögen im Boden bei absolut höheren Temperaturen mit wachsender Temperatur auch noch rascher abzunehmen als bei niedrigen. Während nämlich in der unteren Schicht von 1—2 Decimeter die Verschiebung der Maxima (------) und Minima (------) im Mittel aller Monate nahezu gleich ist unter einander (2,22 und 2,45, Columne 4 und 8 der obenstehenden Tabelle), sind in der oberen Schicht, wo die Maxima durch eine um etwa 15° C. wärmere Erdschicht fortgeleitet werden als zu der Zeit, wo die Minima in ihr fortschreiten, viel bedeutendere Differenzen der Verspätungen der Maxima und Minima vorhanden (2,3 gegen 4,26 als Mittelwerthe, Col. 3 und 7). Bei einfacher Proportionalität zur Temperatur müsste bei der ungefähr gleichen Schwankung der Temperatur vom Mittel aus nach beiden Seiten hin, weil diese Mittel selbst in den verschiedenen Bodenschichten im Jahresdurchschnitt nicht beträchtlich verschieden sind, die Verschiebung des Maximum gegenüber derjenigen in den tieferen Schichten um nahezu ebenso viel geringer sein, als das Maximum grösser erscheint.

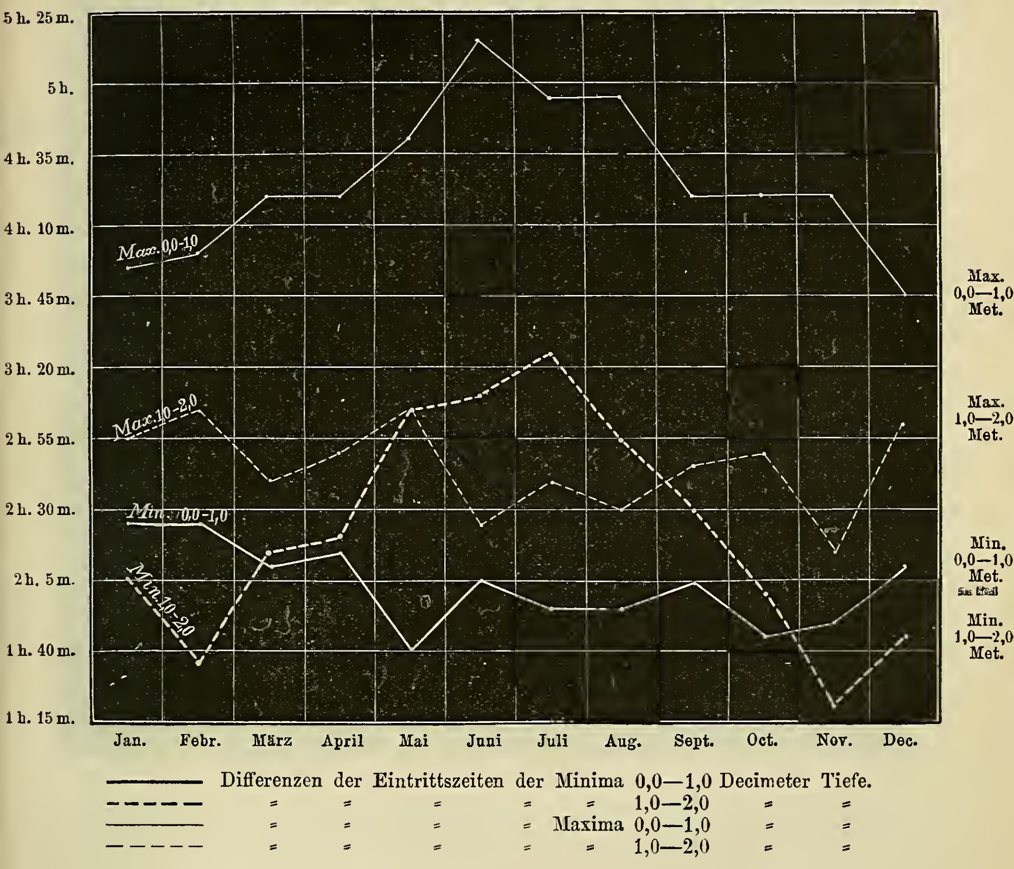
Fassen wir aber noch die beiden Schichten 0,0—1,0 Decimeter und 1,0—2,0 Decimeter (Columne 5 und 6) gesondert ins Auge (Fig. 11). Die Schlussfolgerungen, zu denen Wild hier gelangt, können vielleicht ein besonderes hygienisches Interesse erlangen.

Nach einzelnen Monaten verglichen, ist in den Schichten von 1—2 Decimeter bei den Maximis eine constante Verschiebung um 2 h. 45 m. das ganze Jahr hindurch, so dass also die für das ganze Intervall von 0—2 Decimeter constatirten grösseren Verzögerungen der Maxima (7,0 im Jahresmittel) (Fig. 11 S. 160) im Sommer allein auf die obere Hälfte derselben von 0—1 Decimeter Tiefe fallen müssen. Für die Ein-

trittszeiten der Minima gilt aber das Entgegengesetzte. In den oberflächlichen Schichten (—— Fig. 10, Col. 3) sind deren Verschiebungen das ganze Jahr hindurch nahezu dieselben, sogar eher im Winter etwas grösser, so dass für die Minima der grösseren Verzögerung der Eintrittszeiten im Sommer ganz der tieferen Hälfte der ganzen Schicht von 0—2 Decimeter Tiefe zukommt. Es muss also gerade für die Zeit des Minimum in der

Fig. 10.

Differenz der Eintrittszeiten der Temperaturextreme gegen die Tiefe.



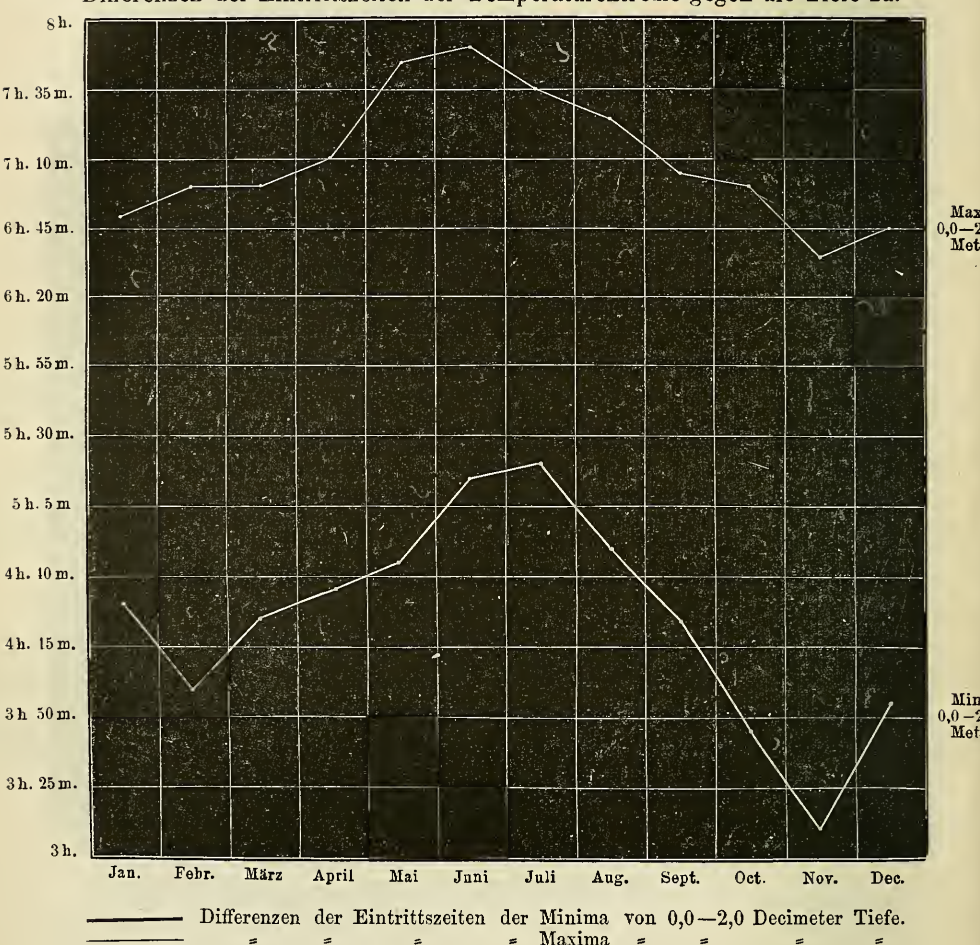
———	Differenzen der Eintrittszeiten der Minima 0,0—1,0 Decimeter Tiefe.
– – – – –	„ „ „ „ „ 1,0—2,0 „ „
———	„ „ „ „ Maxima 0,0—1,0 „ „
– – – – –	„ „ „ „ „ 1,0—2,0 „ „

obersten Erdschicht irgend eine Ursache vorhanden sein, welche die wegen höherer Temperatur verminderte Leitungsfähigkeit des Bodens im Sommer wieder erhöht resp. compensirt. Für eine solche Ursache hält Wild die Luftströmungen in den Poren der obersten Erdschicht. In den Kanälen zwischen den Bodenpartikelchen wird zur Zeit der Minima die in der Nähe der Oberfläche durch die stärkere Abkühlung

schwerer gewordene Luft heruntersinken und wärmerer, von unten her nachströmender Platz machen, so dass also ausser durch Leitung auch noch durch diese Luftbewegungen die Erniedrigung der Temperatur in der Tiefe beschleunigt wird.

Fig. 11.

Differenzen der Eintrittszeiten der Temperaturextreme gegen die Tiefe zu.



Differenzen der Eintrittszeiten der Minima von 0,0—2,0 Decimeter Tiefe.
" " " " Maxima " " " "

Es ergibt sich nun das allgemeine Resultat, dass die Verzögerungen der Eintrittszeiten der täglichen Temperaturextreme im Boden nach der Tiefe hin weder der letzteren proportional, noch für die Minima und Maxima von gleichem Betrage sind, sondern in Folge der Aenderung des Leitungsvermögens der Erde mit der Temperatur und der Luftströmungen in den Poren der Oberfläche nach der Tiefe

hin anfänglich sehr rasch, später langsamer abnehmend sich herausstellen. Erst von 2—3 Decimeter Tiefe an abwärts dürfte (für Nukuss) eine für die Maxima und Minima gleiche, der Tiefe proportionale Verzögerung ihrer Eintrittszeiten von ungefähr 2½ Stunden pro Decimeter eintreten, die sich mathematisch ableiten lässt (vergl. S. 163), während in den obersten Bodenschichten, wie aus den oben citirten Untersuchungen Wild's hervorgeht, eine Reihe von Störungen, wie Niederschläge, Luftströmungen in den Zwischenräumen, alsdann auch die Variation des Leitungsvermögens mit der Temperatur eine bedeutende Rolle spielen.

Auf diese Weise lässt sich also, wenn eine genügende Anzahl von Beobachtungen vorliegt, auch die Grenze bestimmen, in welcher die Tagesschwankungen aufhören, resp. gleich 0,01° werden, also der Einfluss der täglichen Periode bereits unmerklich ist.

Für Nukuss fand Wild diese Grenze in der Tiefe von 0,81 Meter; für Brüssel Quetelet 0,3—1,46 Meter.

β) Fortschreiten der Schwankungen der Jahresperiode.

Auch die jährliche Periode der Bodentemperatur folgt ähnlichen Gesetzen, und ist ihr Gang für uns vom hygienischen Standpunkte sehr wichtig, da wir wissen wollen, wie tief der Einfluss der Jahreszeiten im Boden sich geltend macht und in welcher Weise er nach Intensität und Zeitfolge abgeschwächt wird.

Es liegt eine grosse Reihe von langjährigen Temperaturbeobachtungen an verschiedenen Bodentiefen vor (vgl. die Tabelle auf S. 165). Berlin, Bern, Brüssel, Buda-Pest, Edinburgh, Greenwich, Heidelberg, Königsberg, Leipzig, München, Paris, Peking, Petersburg, Schwerin, Stockholm, Upsala u. s. w.

Die Beobachtungen der beiden Becquerel[1]) (mittelst elektrischer Thermometer) erstrecken sich bis zur Tiefe von 36 Metern. Nach einem Durchschnitt von 10 Jahren ergaben sich je nach der Tiefe folgende Jahresmittel:

Tiefe	10 jähriges Mittel	Bodenbeschaffenheit
1 Meter	11,31°	Sandboden (Terre sableuse de remblai)
6 „	11,94	„
11 „	11,96	Mergel
16 „	12,01	Kalkboden (bei 15 Metern eine wasserführende Schicht)
21 „	12,09	„
26 „	12,37	Plastischer Thon (wasserführende Schicht bei 24 Met.)
31 „	12,31	„ „
36 „	12,42	„ „

1) Compt. rend. LXXXII.

Aus den einzelnen Beobachtungen geht hervor, dass in der Tiefe von 1 Meter die Schwankungen zwischen Winter und Herbst ungefähr 7° betragen; bei 6 Meter, wo die tiefste Temperatur im Frühjahr eintritt, ist die Amplitude 1,07; bei 31 Meter nur 0,04; bei 36 Meter ist die Temperatur constant.

In den Kellern des Observatorium von Paris befindet sich in einer Tiefe von 28 Meter ein Thermometer, von dem schon MARIOTTE nachwies, dass seine Schwankungen in der Zeit vom December 1670 bis September 1672 kaum bemerkbar gewesen sind. — In den Jahren 1817—1834 betrugen die Schwankungen nach BOUVARD [1]):

	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825
Maximum . . .	11,779°	11,774	11,774	11,814	11,814	11,814	11,849	11,884	11,849
Minimum . . .	11,675	11,675	11,710	11,710	11,744	11,779	11,779	11,744	11,779
Differenz (Amplitude)	0,104	0,089	0,064	0,104	0,070	0,035	0,070	0,140	0,070

	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834
Maximum . . .	11,849°	11,884	11,919	11,989	11,971	11,982	11,982	11,971	11,971
Minimum . . .	11,779	11,814	11,849	11,919	11,919	11,954	11,954	11,936	11,954
Differenz (Amplitude)	0,070	0,070	0,070	0,070	0,052	0,028	0,028	0,035	0,016

Wir müssen also in einer bestimmten Tiefe zu einem Punkt gelangen, wo überhaupt die Temperatur des Bodens constant bleibt und weder Tages- noch Jahresschwankungen zeigt, — in die Zone der sogenannten invariablen Erdschicht. — Selbstverständlich ist die obere Grenze der invariablen Erdschicht für die verschiedenen Gegenden und Orte in verschiedenen Tiefen gelegen. Ihre Lage resp. Tiefe hängt ab von den Differenzen der maximalen und minimalen Jahrestemperaturen für jeden Ort und von der Beschaffenheit und vorzüglich von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens. Die Temperatur der obersten Grenzschicht dieser invariablen Zone wird der mittleren Jahrestemperatur entsprechen müssen.

Die Abnahme der durch die Jahreszeiten hervorgerufenen Temperaturschwankungen würde regelmässig sein und einer geometrischen Progression (gegenüber der arithmetischen Reihe der Tiefenzunahme) entsprechen, wenn der Boden homogen wäre. Da aber verschiedene Bodenschichten verschiedenartig die Wärme leiten, da ausserdem das Regenwasser und das Grundwasser die Temperatur der Bodenschichten beeinflussen, so ist dies nicht möglich.

1) SCHMID, Meteorologie.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Wärme nach der Tiefe hin fortpflanzt, ist der Leitungsfähigkeit des Bodens (k) direct proportional, die Wärmecapacität (c) und Dichtigkeit (d) umgekehrt proportional, das Verhältniss beider Grössen $\frac{k}{cd}$ führt zur Aufstellung einer Constanten K für die jeweilig untersuchte Bodenbeschaffenheit, die einmal auf Grundlage der Wärmeleitung und Wärmecapacität bestimmt, sodann aber auch aus der Abnahme der Bodentemperatur mit der Tiefe auf mathematischem Wege gewonnen werden kann.

Diese Grösse k beträgt nach directen Bestimmungen[1]):

für Luft	15,6	(Stefan)
„ Eisen	10,5	(Angström)
„ Sandstein	0,800	(Neumann)
„ Eis	0,67	„
„ grobkörnigen Granit	0,645	„
„ gefrorenen Boden	0,540	„
„ Serpentin	0,35	„
„ Schnee	0,21	„
„ Glas	0,20	(Stefan)
„ Wasser	0,090	(Lundquist und Winkelmann)
„ Steinkohle	0,068	(Neumann)
„ Hartgummi	0,056	(Stefan).

Es sind die Gesetze, nach welchen sich die Jahresschwankungen in der Tiefe fortpflanzen und abschwächen, von Forbes, Quetelet und Wild untersucht worden.

An der Hand dieser Forschungen zeigt nun Wild:

Die Weite der jährlichen Schwankung und ihre Abnahme mit der Tiefe wird am einfachsten durch die Poisson'sche Formel $\log \Delta p = A - Bp$ ausgedrückt.

Hierbei bedeutet Δ die der Tiefe p entsprechende jährl. Schwankung.

$A = \log \Delta_0$ stellt den Logarithmus der für $p = 0$, d. h. für die an der Oberfläche stattfindende Temperaturamplitude in der Tiefe $p = 1$ zu der an der Oberfläche dar.

Die Verschiedenheit dieser Grössen hängt vorzüglich von der Verschiedenheit des Bodens ab, wie dies besonders aus den Beobachtungen von Forbes in Edinburg hervorgeht.

Nach dieser Formel berechnet Wild die Tiefe, in welcher die Amplitude eine bestimmte Grösse erreicht:

für Petersburg:

für die Amplitude von	1,0°	eine Tiefe von	9,14 Metern
„ „ „ „	0,1	„ „ „	15,65 „
„ „ „ „	0,01	„ „ „	22,2 „

für Nukuss:

für die Amplitude von	1,0°	eine Tiefe von	6,45 Metern
„ „ „ „	0,1	„ „ „	10,55 „
„ „ „ „	0,01	„ „ „	14,6 „

1) Wild l. c.

so dass also in St. Petersburg in ca. 22 Meter Tiefe, in Nukuss in ca. 15 Meter die jährliche Variation der Temperatur als verschwindend zu betrachten wäre.

Wild (l. c.) gibt eine Zusammenstellung einer grossen Reihe von Erdtemperaturbeobachtungen, wobei die Orte nach ihrer geographischen Lage geordnet sind und in welcher nach der Formel von Poisson auch jene Tiefe p_0 (Col. 14 der Tabelle auf folgender Seite) berechnet ist, wo die jährliche Temperaturoscillation verschwindet, resp. 0,01° erreicht. Gleichzeitig ist in der mit k überschriebenen Col. 15 die sogenannte Wärmeconstante des Bodens gegeben, d. i. das Leitungsvermögen der Erde, dividirt durch das Product aus der specifischen Wärme und Dichte. t (Col. 16) bezeichnet sodann die mittlere Jahrestemperatur der Erdschichten, auf welche sich k bezieht; z (Col. 17) die Zahl der Beobachtungsjahre am betreffenden Ort; Δ_0 (Col. 19 u. 20) die Differenz der Extreme der jährlichen Periode an der Erdoberfläche und zwar in Col. 19 die nach der Poisson'schen Formel berechnete, und in der folgenden Spalte (20) die wirklich beobachtete, oder in Ermangelung dessen auch wohl die Jahresamplitude der Lufttemperatur, was durch ein beigesetztes L angedeutet ist.

Die Col. 2—11 geben die in verschiedenen ungefähren Tiefen beobachteten Jahresmittel der Temperatur im Vergleich mit der Lufttemperatur in der ersten Columne.

An der Hand dieser Tabelle, sowie auf Grund mathematischer Berechnungen weist nun Wild nach, dass die grössere oder geringere Tiefe des Bodens, in welcher die jährliche Temperaturschwankung der Oberfläche um denselben Bruchtheil vermindert erscheint, im Wesentlichen blos von der Beschaffenheit des Bodens und seiner Temperatur, nicht aber von der geographischen Breite des Ortes abhängt. Deshalb bestreitet auch Wild die Richtigkeit der Angabe Boussingault's, nach welcher in der Nähe des Aequators unter einem Dache die tägliche wie jährliche Temperaturschwankung schon in 1/4—1/3 Meter Tiefe verschwinde. Es könnte dies nur mit Rücksicht auf die Abnahme der Grösse der äusseren, der oberflächlichen Temperaturschwankung sein; da nun kaum an einem Orte die jährliche Temperaturschwankung geringer als 1,5° C. ist, so ergibt die Berechnung (S. 163), dass die Tiefe, in welcher die Temperaturoscillation sogar noch 0,1° C. beträgt, noch bei 5 Metern zu suchen ist; und diese Tiefe vermindert sich nur zu 3,4 Metern, wenn obige Amplitude von 1,5° C. blos als eine halbjährige betrachtet wird, wie dies unter den Tropen der Fall sein könnte.

Da die obere Zone der constanten Temperatur des Bodens die mittlere Jahrestemperatur der Luft zum Ausdruck bringt, so muss dort, wo diese letztere den 0 Punkt nicht erreicht, dies auch bei der oberen Zone der constanten Bodentemperatur der Fall sein, und wird der gefrorene Zustand des Bodens sich um so tiefer erstrecken, je tiefer unter Null die Jahrestemperatur ist. Die Grenzlinie, von der nördlich die Gebiete gelegen sind, in denen die mittlere Jahrestemperatur unter Null bleibt, bezeichnet sonach auch die Ausdehnung

Col. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Jahres-mittel	Jahresmittel der Temperatur des Bodens in der Tiefe von										Ort	Geogr. Breite	p_0	k	t	z	Natur des Bodens	Δ_0	
Luft	0,0 Mt.	0,5 Mt.	1,0 Mt.	1,5 Mt.	2,0 Mt.	2,5 Mt.	3,0 Mt.	4,0 Mt.	6,0 Mt.	7,3 Mt.			Mt.					be-rech-net	beob-achtet
−10,9	—	—	—	—	−11,1	—	—	−10,1	−10,1	—	1. Jakutsk	62° 2′ N.	24,1	0,619*	−10	2	Dammerde und Sand gefroren	36,6°	70,4° L.
3,1	3,6	4,6	5,7	6,7	—	—	7,2	—	—	—	2. Petersburg	59° 56′	22,2	0,452	7	4	Sand	25,4	28,3
4,8	—		6,8	6,8	6,8	—	6,9	—	—	—	3. Upsala	59° 52′	19,0	0,354	7	8	Sand und Thon	21,1	22,6 L.
6,3	—	7,0	7,0	—	—	—	—	—	—	—	4. Stockholm	59° 21′	20,3	0,429*	7	1	Sand	19,6	23,5 L.
8,8	—	6,7	7,3	7,7	7,9	—	—	—	—	—	5. Edinburg a	55° 58′	32,8	1,419	8	4	Sand	8,3	11,7 L.
7,4	—	—	7,5		7,7	—	—	8,0	—	8,3		—	18,5	0,473	—	—	Trapp	12,7	—
	—	—	7,8		8,0	—	—	8,2	—	8,4	b	—	21,6	0,523	8	5	Sand	14,9	—
	—	—	7,7		7,7	—	—	7,7	—	7,8		—	31,8	1,386	—	—	Sandstein	11,5	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	c	—	—	0,470	8	13	Trapp	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6. Königsberg a	54° 43′	22,8	0,589	7	4	Sand und Dammerde	23,2	—
7,5		8,2	8,2	8,3	—	8,5		8,6	—	8,5	b	—	22,7	0,583	7	3		21,4	—
8,1	9,0	8,5	8,5	8,7	—	—	—	—	—	—	7. Schwerin	53° 36′	26,5	0,708*	9	8	Sand	21,9	20,4
9,3	8,4	8,5	8,8	9,2	—	—	—	—	—	—	8. Berlin	52° 30′	23,5	0,605	9	12	Sand	16,3	17,0
9,6	—	—	10,5		10,7	—	—	10,3	—	10,2	9. Greenwich	51° 29′	27,7	0,745	10	13	Sandkies	14,7	—
8,5	8,0	8,8	8,4	—	—	8,9	8,9	—	—	—	10. Leipzig a	51° 20′	31,1	0,980	9	6	—	21,4	27,0
8,2	—	—	—	—	9,0	—	9,2	—	—	—	b	—	31,3	1,030	9	4	—	18,9	—
10,5	9,8	9,7	10,7	—	—	—	—	11,9	—	11,8	11. Brüssel	50° 51′	24,8	0,626	11	6	—	14,2	16,9
—	—	—	—	9,7	—	—	—	9,8	10,0	10,2	12. Bonn	50° 44′	27,1	0,723	10	1	Sand	24,0	—
9,8	—	10,0	11,2	11,1	—	—	—	—	—	—	13. Heidelberg	49° 28′	27,0	0,734*	11	7	Thon	22,2	—
9,8	—	11,1	12,1	11,3	—	—	—	—	—	—	14. Schwetzingen	49° 25′	29,1	0,855	11	5	Sand	22,4	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15. Paris a	48° 50′	22,4	0,498*	—	4	—	23,6	16,9 L.
10,8	—	—	11,9	—	—	—	11,7	—	—	—	b	—	15,7	0,294	12	1	—	11,6	—
7,3	—	—	8,8	—	—	8,9	9,0	9,0	9,0	—	16. München	48° 9′	22,3	0,548	9	1	Thon und Kies	15,6	20,5 L.
11,0	—	—	11,0	—	—	11,6	11,9	12,1	12,1	—	17. Buda-Pest	47° 29′	16,4	0,271	12	2	Thon	22,0	—
8,8	—	9,4	9,7	10,1	10,5	—	—	—	—	—	18. Zürich	47° 23′	27,2	0,804*	10	4	—	16,5	—
9,1	—	—	8,9	—	9,1	—	—	—	—	—	19. Bern	46° 57′	18,7	0,342	9	4	Dammerde	24,3	30,8 L.
11,0	15,2*	14,6	15,2	15,0	—		14,5	14,0	—	—	20. Nukuss	42° 27′	14,6	0,262	14	3	Sand und Thon	37,8	38,6
12,0	—	12,1	12,1	11,8	—	12,5	13,1	13,3	—	—	21. Peking	39° 55′	16,8	0,381	13	1	Sand und Thon	31,3	—
27,2	—	—	29,8	—	30,2	—	—	30,1	—	—	22. Trevanden	8° 31′	15,2	0,435	30	3	Thon	5,3	—
17,0		17,1	17,8	17,6	—	—	17,3	—	17,2	—	23. Sidney	33° 52′ S.	29,7	1,060	17	6	Thon u. Sandstein	11,5	18,4 L.
14,2	16,9	13,3	—	15,6	16,1	15,8	—	—	—	—	24. Melbourne	37° 49′ S.	32,2	1,120*	16	2	Eisenhaltiger Kies	17,1	—

* Die mit diesem Zeichen versehenen Ziffern beruhen auf unsicheren und ungenauen Beobachtungen.

der ewig gefrorenen, invariablen Bodenschicht. Diese Linie verläuft rings um die polaren Regionen im Allgemeinen zwischen 56 bis 64° NB.

Zu Jakutsk in Sibirien, das eine mittlere Jahrestemperatur von —10,15 besitzt, wurde im Jahre 1828 die Bohrung eines Brunnenschachtes begonnen, der im Jahre 1837 eine Tiefe von 116½ Meter erreicht hatte, ohne dass bisher die Grenze des Bodeneises gefunden worden wäre; die hier von SCHERGIN beobachtete Temperatur betrug —0,6. Die Tiefe der unteren Grenze des gefrorenen Erdbodens berechnete MIDDENDORFF auf 186,5—195,7 Meter [1]).

II. Innere Erdwärme.

Eine zweite Quelle der Bodentemperatur liegt in der inneren Erdwärme, sie tritt jedoch vorzüglich erst in jenen Schichten rein in die Erscheinung, die unterhalb der Grenze der invariablen Erdschicht gelegen sind und äussert sich in der mit wachsender Tiefe stets zunehmenden Temperatur. Diese Zunahme erfolgt nicht überall gleichmässig. Die physikalische und chemische Zusammensetzung des Bodens, die Anwesenheit von Wasser und Luft wirken mit bestimmend.

SAUSSURE fand zu Bex (Canton Waadt) in einem Schacht, der 3 Monate nicht befahren war,

in 312': 14,4°, in 550': 15,6°, in 660': 17,4° C.

Im Mont-Cenis-Tunnel war nach den Beobachtungen GIORDANO's die Temperatur folgende:

Tiefe unter der Oberfläche	Lufttemperatur	Gesteinstemperatur
520 Meter	15,3°	17°
910 „	24,5°	27,5°
1370 „	26,8°	28,8°
1609 „	30,1°	29,5°

Im Gotthard-Tunnel [2]) betrug die Temperatur 1250,5 Meter unter der Oberfläche (2410,5 Meter über dem Meeresspiegel) 30,6° C. In dem derzeit tiefsten Bohrloch Schladebach, nahe der Station Kötschau der Bahn Korbetha-Leipzig wurde in einer Tiefe von 1376 Meter eine Temperatur von 48° C. gefunden [3]).

Die Commission der British Association zur Untersuchung der Untergrundtemperaturen gibt eine Zusammenstellung der verschiedenen Messungen über die Zunahme der Temperatur nach der Tiefe.

---

1) SCHMID, Meteorologie.

2) G. A. KOCH, Erdwärme und Tunnelbau. Zeitschrift des österr. Alpenvereins. 1882.

3) Naturforscher. 1883. S. 96.

Wir wollen derselben einige Angaben entnehmen, die theils wegen der Tiefe, in der die Beobachtungen angestellt wurden, theils wegen der erhaltenen Werthe für die Wärmezunahme interessant sind.

Ort	Tiefe		Temperaturzunahme	
	in engl. Fuss	in Metern	in engl. Fuss für je 1° F.	in Metern für je 1° C.
Bootle Wasserwerke (Liverpool) . .	1392	424,3	130	71,3
Bergwerk Přibram (Böhmen) . . .	1900	579	126	69,1
St. Gotthard-Tunnel	5578	1700	82	45
= = ...	—	1026 [1])	—	51,8
= = ...	—	558 [1])	—	42,3
= = ...	—	301 [1])	—	24
Mont-Cenis-Tunnel	5280	1609	79	43
= = = ...	—	1528 [1])	—	50
= = = ...	—	1370 [1])	—	46
= = = ...	—	910 [1])	—	36
= = = ...	—	520 [1])	—	30
Ashton Moos, Kohlengrube (Manchester)	2790	850,4	77	42
Schemnitz, Bergwerk (Ungarn) . . .	1368	416,9	74	40,5
Manegaon, Bohrloch (Indien) . . .	310	94,5	68	37
Pariser artes. Brunnen (Grenelle) . .	1312	400	57	31
= = = (St. Andrée) .	830	253	56	30,8
= = = (Militärschule).	568	173,1	56	30,8
Londoner = = (Kentish Town)	1100	335,3	55	30
Jakutsk, gefrorener Boden (Sibirien) .	540	164,6	52	28
Sperenberg, Bohrloch (Berlin) . . .	3492	1064,3	51 1/2	28
Petersburg, Brunnen (Russland) . .	656	200	44	24
Weardale, Grube (Northumberland) .	660	201,1	34	18,7

Als Mittelwerthe aus diesen Zahlen ergibt sich eine Zunahme der Temperatur um 1° F. in 64′ oder für jeden Fuss eine Wärmezunahme von 0,01566° F. und im metrischen Maass ausgedrückt eine Temperaturzunahme von 1° in 35 Metern und für jeden Centimeter Tiefenzunahme eine Steigerung der Temperatur um 0,000285° C. [2])

Mit Rücksicht auf die Tiefe, in welcher sich diese Vorgänge abspielen, haben dieselben im Allgemeinen nur beschränkte hygienische Bedeutung. In den Fragen des Berg- und Tunnelbaues werden sie eingehendere Beachtung finden.

III. Die durch physikalisch-chemische Vorgänge innerhalb des Bodens erzeugte Wärme.

Als dritte Quelle der Bodenwärme sind gewisse physikalisch-chemische Vorgänge aufzufassen. Während ihre Be-

1) Diese Angaben entstammen nicht den englischen Berichten, sondern den Untersuchungen Hann's, Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. 1878.

2) Naturforscher. 1883. S. 96.

deutung für die Temperatur des Erdballs, als Ganzen, sehr gering erscheint, können sie für die Hygiene gerade dadurch von Wichtigkeit sein, dass sie sich in umschriebenen Herden, in begrenzten Localitäten geltend machen, und diese letzteren durch die Temperaturerhöhung, die sie verursachen, in eine Stätte umwandeln, die für die Entwickelung niederer Organismen günstige Bedingungen darbietet, und dies mitunter zu einer Zeit oder an einem Orte, wo sonst für derartige Vorkommnisse keine Disposition besteht.

Vorerst sind es die bei der Absorption von Gasen und Flüssigkeiten frei werdenden Wärmemengen, die in Betracht kommen. POUILLET[1]) fand bei Absorption von Wasser durch fein vertheilte anorganische Substanzen Temperaturerhöhungen bis zu 10°. STELLWAG's[2]) Untersuchungen ergaben, dass die Temperaturerhöhung vollständig trockenen Bodens bei Zuführung von Wasser recht bedeutend ist (bei Lehm um 5,57° C., bei Eisenoxydhydrat um 6,6°, bei humösem Kalksande um 8,33°) und dass sie überhaupt um so grösser ist, je trockener, feinkörniger und kälter der Boden ist.

Bei der Absorption von Wasserdampf im trockenen Boden konnte BABO[3]) eine Temperaturerhöhung constatiren, die bei humusreichem, bei 30—40° getrockneten Boden von 20° auf 31°, bei humusarmem von 20 auf 27° stieg. In welcher Weise sich auch der mineralogische Charakter hierbei geltend macht, geht aus den Versuchen STELLWAG's hervor. Unter gleichen Umständen erwärmte sich

Quarzsand, Korn (0,00—0,25 Mm. Durchmesser)	um	0,88
Quarzpulver	„	1,08
Gefällter kohlensaurer Kalk	„	1,47
Kaolin	„	2,63
Eisenoxydhydrat	„	9,30
Torf	„	12,25

Mit dem verschiedenen Grade der Absorptionsfähigkeit eines Bodens für verschiedene Gase variirt auch die hierdurch bedingte Temperaturerhöhung, sie ist nach STELLWAG geringer für Kohlensäure, höher für Ammoniak.

Die als Folge der Temperaturdifferenzen zwischen Boden und Luft auftretende Condensation von Wasserdampf zu Wasser ist ebenfalls als locale Wärmequelle zu berücksichtigen. An der Oberfläche des Bodens wird sie hauptsächlich zu jenen Tagesstunden erfolgen,

---

1) POUILLET, Annales de Chim. et Phys. XX.

2) STELLWAG, Temperatur der Bodenconstituenten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. V.

3) BABO, Journal f. prakt. Chemie. 72.

in denen die Bodenoberfläche (durch Ausstrahlung) eine niedrigere Temperatur erhält als die Luft und als die unter ihr befindlichen Boden- und Luftschichten (am häufigsten ist dies der Fall von 1—6 h. Morgens, vergl. die Tabellen auf S. 143 u. 152, Curve Fig. 5 u. 8). Es erfolgt diese Condensation dadurch, dass die bedeutend stärker abgekühlte Bodenoberfläche den Wasserdampf der atmosphärischen Luft oder auch den der aufsteigenden Bodenluft niederschlägt. Da bei der Condensation von 1 Gramm Wasserdampf zu Wasser 536 Calorien frei werden, so liesse sich im speciellen Falle die Erwärmung, die eine solche Condensation zur Folge hat, berechnen. Jamin benutzt diesen Calcul um zu zeigen, wie hierdurch der durch nächtliche Strahlung eintretenden Bodenabkühlung entgegengearbeitet wird.

Weiterhin können auch noch die im Boden vor sich gehenden chemischen Vorgänge die Bodentemperatur wenigstens an umschriebenen Stellen beeinflussen. Bei jeder Vereinigung der Elementaratome, beziehungsweise der näheren Bestandtheile einer chemischen Verbindung zu dieser Verbindung wird Wärme frei, bei jeder Zersetzung einer chemischen Verbindung in ihre Elementaratome oder ihre näheren Bestandtheile wird Wärme gebunden. Im Boden gehen nun mannigfaltige chemische Processe vor sich (vergl. Cap. V), bei denen allerdings das Endresultat dieser beiden, einander entgegenwirkenden Processe sich nicht immer genau feststellen lässt.

Es complicirt sich ausserdem dieser Vorgang durch die Mitwirkung von niederen Organismen, die bei den Vorgängen der Verwesung, Fäulniss und Gährung mitbetheiligt sind, und welche die in den chemischen Verbindungen enthaltene Spannkraft in lebendige Kraft, in Wärme umwandeln (im Gegensatze zu den chlorophyllhaltigen Pflanzen, welche unter Einwirkung des Lichtes und unter Zerlegung der Kohlensäure der Luft die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen in Spannkraft umwandeln, indem sie aus den einfachen Körpern höher zusammengesetzte organische Verbindungen bilden).

Die Wärmemengen, die z. B. bei der Gährung gebildet werden, sind ganz erhebliche. In einem Flüssigkeitsquantum von 21400 Litern, in welchem 2559 Kgrm. Rohrzucker im Laufe von 4 Tagen vergohren, beobachtete Dubrunfaut eine Temperaturerhöhung von 23,7° auf 33,75°, das entspricht einer Erzeugung von 146,6 Calorien bei der Vergährung von 1 Kgrm. Rohrzucker oder 1,0526 Kgrm. Traubenzucker, wobei 0,51 Kgrm. Alkohol entstehen [1]).

Die Bildung von Kohlensäure und salpetriger und Salpetersäure

1) Nägeli, Theorie der Gährung. S. 54.

im Boden scheint ebenfalls mit der Lebensthätigkeit niederer Organismen zusammenzuhängen, jedenfalls verdanken sie ihre Entstehung der Oxydation organischer Substanzen; also gleichfalls Vorgängen, die mit Entbindung ziemlich grosser Wärmemengen einhergehen.

In der That lässt sich auch an circumscripten Stellen eine durch Zersetzungen hervorgerufene Temperatursteigerung nachweisen. Pfeiffer[1]) stellte fest, dass in einem aufgeschütteten, von Jauche durchtränkten Boden (in Weimar) eine durch Fäulnissvorgänge bedingte Temperaturerhöhung eintrat, welche in einer Tiefe von 3′ bis 3° C. betrug. Emmerich[2]) beobachtete in einem Falle, dass die Temperatur des Fehlbodens im Hause bei einer Zimmerwärme von 16° und ausserhalb der Heizperiode, lediglich in Folge rapid verlaufender Zersetzungsprocesse, bis zur Höhe von 32° ansteigen konnte.

Endlich ist noch auf locale Temperaturdifferenzen aufmerksam zu machen, die dadurch entstehen, dass gewisse Partien des Bodens der directen Einwirkung der äusseren Factoren entzogen sind. Abgesehen von dem Einflusse der Vegetationsdecke, dessen schon S. 135 gedacht wurde, sei hier der Bedeckung des Bodens durch Bauten gedacht. Durch dieselbe kann sowohl die grössere Erhitzung als auch Abkühlung der unter dem Bau befindlichen Bodenschichten verhindert werden.

Es wurden schon S. 57 die einschlägigen Untersuchungen Pfeiffer's angeführt, die darthun, dass der Boden unter dem Hause (im Keller) im Sommer eine tiefere, im Winter eine höhere Temperatur erreicht als unter denselben Bedingungen im Freien.

Ein indirecter Beleg hierfür ist auch aus den Kohlensäurebestimmungen Port's[3]) zu entnehmen. Derselbe bestimmte die Kohlensäure der Grundluft einmal in dem Boden unterhalb des Hauses, sodann in jenem ausserhalb des Hauses in gleichen Tiefen von je 1,5 und 3,0 Metern (vergl. die Tabelle auf nächster Seite).

Die Kohlensäurebildung im Boden ist mit Rücksicht auf ihre zeitlichen Schwankungen in ihrer Intensität vorzüglich von der Temperatur abhängig (vergl. Cap. V).

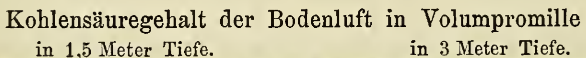
Es ist schon bemerkenswerth, dass in beiden Fällen das Jahresmittel der Kohlensäure unter dem Hause höher ist als im Freien, 17,15 gegenüber 16,63 und 18,47 gegen 17,35; sodann aber finden wir in der Kohlensäureschwankung unterhalb des Hauses eine auffallende Verspätung. Das

1) Pfeiffer, Einfluss der Bodenwärme auf die Verbreitung und den Verlauf der Cholera. Zeitschrift f. Biologie. VII.

2) Emmerich, Die Verunreinigung der Zwischendecken. Zeitschrift f. Biologie. VIII.

3) Port, Epidemiologische Beobachtungen in den Garnisonen Münchens. Archiv f. Hygiene. I.

	Lufttemperatur in 4′ = 1,2 Meter Tiefe [1])	Kohlensäuregehalt in Volumpromille in 1,5 Meter Tiefe ausserhalb des Hauses	innerhalb des Hauses	Lufttemperatur in 12′ = 3,5 Meter Tiefe [1])	Kohlensäuregehalt in Volumpromille in 1,5 Meter Tiefe ausserhalb des Hauses	innerhalb des Hauses
Juni 1881 . .	11,51	15,67	**6,75**	8,16	14,36	**5,91**
Juli „ . .	14,56	23,97	11,45	9,41	22,08	14,15
August „ . .	**15,27**	28,47	13,73	10,78	27,96	14,84
Sept. „ . .	14,07	**33,80**	18,48	11,55	**32,32**	23,10
October „ . .	11,53	26,03	**28,25**	**11,57**	26,57	**30,25**
Nov. „ . .	8,70	16,11	26,68	10,82	20,54	28,71
Dec. „ . .	6,81	11,43	24,76	9,86	14,40	27,76
Jan. 1882 . .	4,77	11,08	19,25	8,86	12,27	20,02
Februar „ . .	**3,66**	**7,25**	16,02	7,86	**6,46**	14,67
März „ . .	4,23	9,83	14,02	6,93	10,38	14,23
April „ . .	6,30	8,78	13,40	**6,81**	9,98	13,79
Mai „ . .	8,91	9,65	13,36	7,30	10,95	14,28
Jahresmittel . .	—	16,63	17,15	—	17,35	18,47



Kohlensäuregehalt der Bodenluft in Volumpromille

in 1,5 Meter Tiefe. in 3 Meter Tiefe.

——— Kohlensäuregehalt ausserhalb des Hauses

- - - - - - „ innerhalb „ „

1) Die Temperaturen des Bodens sind nicht direct in Beziehung zu bringen

Maximum der Kohlensäureproduction im Freien ist in beiden Tiefen im September wahrzunehmen, während es unterhalb des Hauses erst im October erreicht ist; dann erfolgt aber im Freien sofort ein plötzlicher und sehr steiler Abfall bis in den December resp. in den Februar, während unterhalb des Hauses der Abfall lange nicht so steil erfolgt und sich auch nicht so tief erstreckt. Es hängt dies wohl damit zusammen, dass der vom Hause bedeckte Boden den durch die directe Wärmeein- und -Ausstrahlung hervorgerufenen Schwankungen nicht ausgesetzt ist.

Es ist allerdings hervorzuheben, dass bei diesem Resultate auch noch andere Factoren mitwirken, welche die Rolle, welche die Temperatur etwa hierbei spielt, nicht vollkommen klar zu Tage treten lassen. Auch der Wassergehalt des Bodens ist auf die Kohlensäurebildung von Einfluss, eine Erhöhung desselben kann, bis zu einem gewissen Grade, die Kohlensäureproduction vermehren. Ferner kann die Bodenventilation das Resultat beeinflussen (vergl. S. 37). Im Freien kann durch Windströmungen eine stärkere Durchlüftung des Bodens erfolgen, als unter dem Hause, und so der Kohlensäuregehalt vermindert werden. Dafür wird sich unter dem Hause im Winter die aspirirende Kraft des erwärmten Hauses geltend machen, wodurch, wenn nicht ein anderer mächtigerer Factor hinzutritt, die Bodenluft unter dem Hause sich allmählich mit der der Nachbarschaft mit Rücksicht auf ihren Kohlensäuregehalt ins Gleichgewicht stellen könnte, was jedoch nicht der Fall zu sein scheint (October — März).

Die hygienische Bedeutung der Temperaturverhältnisse des Bodens ist von verschiedenen Gesichtspunkten aus zu würdigen.

Zuvörderst sei auf den von Wild geführten Nachweis der durch die Temperaturunterschiede bedingten Luftbewegung in den oberen Bodenschichten hingewiesen (S. 159, vergl. auch Cap. III, S. 57); es sind die Temperaturdifferenzen zwischen Boden und Atmosphäre, zwischen Boden und Haus mächtige Factoren, die eine Wechselwirkung zwischen dem Boden und dem Menschen herbeizuführen vermögen.

Weiter sei auf jene Folgen der Temperaturschwankungen des Bodens hingewiesen, die sich in Volumveränderungen geltend machen. Es kann auf diese Weise zu Verschiebungen, zur Bildung von Spalten, Sprüngen, zur Ablösung von Gesteinstrümmern kommen. Hierdurch wird also einerseits eine Communication mit den tieferen Bodenschichten ermöglicht, andererseits aber durch die Beförderung der Staubbildung und durch die Loslösung von kleinen Partikeln, die leicht von heftigeren Luftbewegungen weiter getragen

---

mit den Kohlensäurezahlen. Einmal entsprechen die Tiefen, in denen sie beobachtet wurden, nicht genau den Tiefen für die Kohlensäurebestimmungen, sodann aber sind sie an einem anderen Orte (an der Sternwarte) angestellt worden. Ich führe sie nur an, um durch sie den Verlauf der Temperaturcurve im Boden zu charakterisiren.

werden können und so schliesslich an den Menschen gelangen (vergl. S. 20).

Gewisse chemisch-physikalische Vorgänge im Boden, die Umwandlung organischer Körper in anorganische, die Bildung von Salpeter und Kohlensäure hängen gleichfalls innig mit den Temperaturverhältnissen zusammen und endlich haben wir die directe Beeinflussung der Lebensthätigkeit und Entwickelung niederer Organismen ins Auge zu fassen. Der Umstand, dass wir innerhalb der verschiedenen Bodentiefen zu einer und derselben Zeit sehr verschiedene Temperaturen vorfinden, lässt gerade den Boden für die Entwickelung und Conservirung, vielleicht aber auch für die Umwandlung und Zerstörung gewisser Organismen günstig erscheinen. Wir haben hierbei im Auge zu behalten, dass die obersten Bodenschichten Temperaturen zeigen, die die Temperatur der Luft weit übertreffen, so dass die in diese Schichten gelangenden Pilze auf Bedingungen stossen, wie sie sie sonst ausserhalb des Körpers, im Freien, gar nicht vorfinden. Können diese hohen Temperaturen einerseits mitunter auf die Entwickelung und Vermehrung und auf die Bildung von Dauerformen ausserordentlich begünstigend einwirken zu einer Zeit, wo dies sonst im Freien nicht möglich ist (Cap. VI), so können andererseits noch weitere Steigerungen der Temperaturen leicht nachtheilige Wirkungen, eine Zerstörung, Hemmung oder Abschwächung gewisser Pilze hervorrufen. Die tieferen Bodenschichten mit ihrer gleichmässigen und relativ niedrigen Temperatur werden entweder nur eine allmähliche, langsame Entwickelung der Pilze zulassen oder einen Stillstand in der Entwickelung herbeiführen, ohne aber eine Zerstörung der Pilze veranlassen zu müssen, sie können also vielleicht in gewissem Sinne conservirend wirken (vergl. Cap. VI).

FÜNFTES CAPITEL.

Boden und organische Substanzen [1]).

Wir haben bisher, soweit es sich um den Zutritt von fremden Stoffen, von Gasen und Flüssigkeiten zum Boden handelte, nur die anorganischen Körper im Auge gehabt, und bei den flüssigen haben

---

1) Es schliesst dieses Capitel auch die Bodenverunreinigung in sich. Soweit sich diese letztere auf die speciellen Fälle der Verunreinigung durch Abfallstoffe, durch Leichen bezieht, sei auf die betreffenden Abhandlungen im II. Theil, II. Abtheilung, 1. Hälfte verwiesen.

wir uns sogar nur auf das chemisch reine Wasser beschränkt. In Wirklichkeit gelangt aber kaum je chemisch reines Wasser in den Boden, schon das Regenwasser nimmt Stoffe aus der Luft auf, die auf der Oberfläche des Bodens lagernden Körper geben ebenfalls lösliche Verbindungen an das Wasser ab, endlich werden direct die verschiedenartigsten Lösungen, wie sie sich als Schmutzwasser präsentiren, auf den Boden aufgegossen und gelangen so eventuell auch in die Tiefe.

Wenn nun auch schon die anorganischen Stoffe durch ihre Schicksale, die sie im Boden erfahren und die sie dem Boden selbst schaffen, einiges Interesse verdienen, so sind es doch vorwiegend die organischen Körper, die die Hygiene beschäftigt haben; wohl hauptsächlich deshalb, weil man in ihnen entweder direct schädliche Stoffe oder aber die Bedingungen für die Entwickelung und Vermehrung von Krankheitskeimen sah, sodann aber auch, weil sie als ein Vehikel zu betrachten sind, durch welches eben etwaige Krankheitserreger dem Boden zugeführt und aus demselben wieder weiter befördert werden können.

Wenn wir das Schicksal verfolgen, das die organischen Körper im Boden erfahren, so haben wir zunächst ihre Wanderungen im Boden ins Auge zu fassen, in zweiter Linie dann die etwaigen Veränderungen, die sie auf dieser Wanderung im Boden erfahren.

I. Das Eindringen von Verunreinigungen in den Boden.

Die organischen Substanzen, die in den Boden eindingen, werden nun zuvörderst sich verschieden verhalten, je nachdem sie in Lösung oder als suspendirte Theile vorhanden sind. Für letztere wirkt der Boden als ein seiner mechanischen Zusammensetzung nach verschieden dichtes Filter, das die suspendirten Bestandtheile zurückhält; dabei tritt aber die eigenthümliche Erscheinung auf, dass auch Körper, deren Durchmesser resp. Querschnitt kleiner ist, als der der Poren und Lücken des Bodens, welche sie zu passiren haben, doch bis zu einem gewissen Grade zurückgehalten werden [1]. Die Erfahrungen, die bei der Filtration von Abwässern u. s. w. gemacht wurden, haben ergeben, dass bei einer bestimmten Höhe der Filterschicht sämmtliche suspendirte Stoffe zurückgehalten werden können.

Die gelösten Stoffe dagegen wandern, entsprechend den (S. 103 ff.) geschilderten Durchlässigkeitsverhältnissen des Bodens für Flüssig-

1) Lissauer, Hygienische Studien über Bodenabsorption. D. Vierteljahrschr. f. öffentl. Gesundheitspflege. VIII.

keiten in die Tiefe, sofern sie nicht durch besondere Vorgänge an Ort und Stelle fixirt werden.

Eine Art Zurückhaltung der Stoffe im Boden erfolgt schon in dem Falle, in welchem Flüssigkeiten überhaupt vom Boden zurückgehalten und nicht an tiefere Schichten abgegeben werden, wo also das Transportmittel selbst in seiner Wanderung gehemmt wird; es tritt dieser Fall dann ein, wenn der Boden, der von den flüssigen organischen Stoffen durchtränkt wird, seine absolute Wassercapacität nicht erreicht hat, denn nur jene Flüssigkeitsmengen können in einem porösen Boden zum Abfluss gelangen, die einen Ueberschuss über die jeweilige absolute Wassercapacität des Bodens repräsentiren. Je trockener ein Boden vorher gewesen, und je grösser seine Wassercapacität, desto länger wird es dauern, bis ein Abfliessen zur Tiefe eintritt, desto länger werden also auch die gelösten organischen Stoffe, die gelösten Verunreinigungen in den oberen Schichten verbleiben (vergl. S. 112).

Die Vorgänge, die für diese Zurückhaltung von Flüssigkeiten im Boden verantwortlich zu machen sind, Adhäsions- und Capillaritätserscheinungen, lassen aber auch dann, wenn in Folge des Ueberschusses an Flüssigkeit ein Hindurchsickern oder Hindurchfliessen derselben etablirt ist, die gelösten Stoffe nicht gleichen Schritt halten mit den hindurchtretenden Flüssigkeitsmengen. Die S. 111 citirten Versuche Hofmann's gewähren uns einen Einblick in die nach Ort und Zeit wechselnden Zustände der Bodenverunreinigung, wenn auch das Schicksal des die Bodenverunreinigung repräsentirenden Kochsalzes keinen vollständig richtigen Ausdruck für die Vorgänge bei organischen Verunreinigungen bietet, da diese eine besondere Fixirung durch den Boden erfahren (vergl. S. 179 ff.). Die Analogie der Hofmann'schen Versuche könnten noch am richtigsten für die entsprechenden Verhältnisse eines Bodens gelten, dessen Absorptionsvermögen für die jeweilig zugeführten organischen Stoffe gesättigt ist.

Eine unseren Zwecken angepasste Modification der Tabelle von S. 112 kann uns zeigen, wie sich allmählich die Concentrationsverhältnisse einer einmal im Boden herbeigeführten Verunreinigung ändern (vergl. die Tabelle auf folgender Seite).

Bei gleicher Menge des aufgegossenen und auch abgeflossenen Wassers ist die Grösse der noch zurückbleibenden löslichen Stoffe, und dem entsprechend die Schnelligkeit der Bodenreinigung, der Bodenauslaugung eine sehr verschiedene. Der Vergleich zwischen Col. 5 und 8 besonders belehrt uns über den Einfluss, den in diesem

Col. 1	2	3	4	5	6	7	8
		Aus Sand I (grobporig 0,5—1,0) abgeflossen			Aus Sand II (feinporig 0,3—0,5) abgeflossen		
Versuchstag	Aufgegossen	Mgrm. Kochsalz	In % des aufgegossenen Kochsalzes	Der Boden enthält noch % des aufgegossenen Kochsalzes	Mgrm. Kochsalz	In % des aufgegossenen Kochsalzes	Der Boden enthält noch % des aufgegossenen Kochsalzes
1	50 Cbcm. mit 0,504 Grm. NaCl	0	0	100	0	0	100
2	50 = dest. Wasser	23	4,5	95,5	0	0	100
3	50 = = =	178	35,3	60,2	0	0	100
4	50 = = =	117	23,2	37,0	0	0	100
5	50 = = =	83	16,4	20,6	0	0	100
6	50 = = =	68	13,4	7,2	51	10,1	89,9
7	50 = = =	24	4,7	2,5	189	37,5	52,4
8	50 = = =	7	1,3	1,2	182	36,1	16,3
9	50 = = =	3	0,6	0,6	72	14,1	2,2
10	50 = = =	1	0,2	0,4	9	1,8	0,4
11	50 = = =	0	0	0	0	0	0

Falle die physikalische Structur ausübt (der Einfluss des mineralogischen Charakters des Bodens wurde von HOFMANN nicht in das Bereich seiner Untersuchungen gezogen).

Während der feinporige Boden am 3. Tage noch sämmtliches Kochsalz in sich enthält (100 %), sind im grobporigen nur noch 60 % vorhanden; auch am 5. Tage enthält der feinporige noch seine sämmtlichen Verunreinigungen (100 %), der grobporige nur 20,6 %; am 6. Tage enthält der feinporige Boden noch 11 mal so viel von eingeführten Stoffen als der grobporige.

Die Ursachen für diese Erscheinungen liegen nicht blos in der geringeren Durchlässigkeit des feinporigen Bodens für Wasser, in dem grösseren Widerstande, sondern auch darin, dass in einem feinkörnigen Boden die mit dem Auswaschen nothwendig sich combinirende Vermischung eine geringere ist, offenbar wegen der capillaren Widerstände; wird nun auf diese Weise die Verunreinigung im feinporigen Boden lange festgehalten, so wird sie andererseits aber auch mehr local fixirt; die eindringende Verunreinigung findet eine beschränktere Verbreitung, sie ist weniger beweglich.

Zu Schlussfolgerungen mit Rücksicht auf die natürlichen Verhältnisse, auf die wechselnden meteorologischen Bedingungen und den dadurch bewirkten Transport der Verunreinigungen in die Tiefe, in das Grundwasser, gelangt HOFMANN auf folgendem Wege. In seiner Versuchsanordnung betrug der Querschnitt der Röhren, also die Bodenoberfläche, 16,7 □Cm. und die täglich aufgegossene Flüssigkeitsmenge von 50 Cbcm. würde demnach einer täglichen Regenhöhe von 30 Mm. entsprechen.

Der zeitliche Vorgang des Eindringens in den Boden verlief nun folgendermaassen:

Im grobporösen Boden war die Verunreinigung am 2. Tage, nachdem im Ganzen 100 Cbcm. = 60 Mm. Regenhöhe aufgegossen worden, in der Tiefe von 1 Meter angelangt, und zwar 4,5 % sämmtlicher Verunreinigungen.

Im feinporösen war die Verunreinigung am 6. Tage, nachdem im Ganzen 300 Cbcm. = 180 Mm. Regenhöhe aufgegossen worden, in derselben Tiefe angelangt.

Die durchschnittliche Regenmenge in Leipzig, dem Orte, an dem diese Versuche angestellt wurden, beträgt aber nur 1,57 Mm. pro Tag (574 Mm. im Jahr); es braucht demnach die Verunreinigung daselbst, um einen Weg von 1 Meter in die Tiefe zurückzulegen:

Im grobporösen Boden $\frac{60}{1,57} = 38$ Tage. Das entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 26 Mm. pro Tag.

Im feinporösen Boden $\frac{180}{1,57} = 114$ Tage. Das entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 9 Mm. pro Tag.

Hofmann sucht ferner an die localen Verhältnisse, den wirklich constatirten Wassergehalt des Bodens und die jeweiligen Regenmengen anzuknüpfen, um daraus die Durchtrittszeit für eventuelle Verunreinigungen zu bestimmen. Von der Voraussetzung ausgehend, dass zur Herbeiführung eines Transportes der Verunreinigungen im Umfange eines bestimmten Cubikraumes Erde eben so viel Wasser eindringen müsse, als in den Capillarräumen vorhanden ist, resp. sein kann, kam er zu folgenden Resultaten bezüglich einiger von ihm auf ihren Wassergehalt untersuchten Bodenarten (vgl. S. 79 u. 80).

Friedhofsboden Schichtentiefe Meter	Pro □ Meter daselbst zu verdrängendes Wasser Liter	Pro □ Mm. daselbst zuzuführende Regenmenge in Mm. = Lit.	Zeitperiode für diese Regenmenge	Summe der erforderlichen Tage
0—0,5	132	132	1. Jan. — 15. April	104,9
0,5—1,0	127	127	15. April — 23. Juni	69,3
1,0—1,5	132	132	23. Juni — 29. Aug.	66,4
1,5—2,0	124	124	29. Aug. — 23. Nov.	86,6
2,0—2,5	107	107	23. Nov. — 16. Febr.	84,3
2,5—3,0	104	104	16. Febr. — 27. April	70,6
0—3,0	726	726	1. Jan. — 31. Dec. und 1. Jan. — 27. April	482,6

Auffüllboden Schichtentiefe Meter	Pro □ Meter daselbst zu verdrängendes Wasser Liter	Pro □ Mm. daselbst zuzuführende Regenmenge in Mm. = Lit.	Zeitperiode für diese Regenmenge	Summe der erforderlichen Tage
0—0,25	87	87	1. Jan. — 16. März	75
—0,75	242,5	242,5	16. März — 25. Juli	131
—1,25	160,5	160,5	25. Juli — 21. Nov.	119
—1,75	156,0	156,0	21. Nov. — 4. März	103
—2,25	267,0	267,0	4. März — 29. Juli	147
—2,90	172,0	172,0	29. Juli — 21. Nov.	115
—3,00	37,0	37,0	21. Nov. — 14. Dec.	23
0—3,00	1122	1122	1. Jan. — 31. Dec. und 1. Jan. — 14. Dec.	713

Diese Tabellen zeigen also, dass Stoffe, welche so leicht und ohne Hinderniss durch die Poren wandern, wie eine klare Kochsalzlösung, ausserordentlich lange Zeit brauchen, um eine bestimmte Tiefe zu erreichen, für eine Tiefe von 3 Metern 482 und 713 Tage, entsprechend der verschiedenartigen Bodenbeschaffenheit. Es ergibt sich als Weggeschwindigkeit in diesen Versuchen:

	Im Friedhofsboden	Im Auffüllboden
Mittleres Eindringen im Tage . .	6,2 Mm.	4,2 Mm.
„ „ „ Monat . .	18,2 Cm.	12,6 Cm.
„ „ „ Jahre . .	2,26 Meter	1,53 Meter.

Diese Vorgänge haben ihr Interesse auch für die Frage der Brunnenverunreinigung, die ja nur als Grundwasserverunreinigung aufzufassen ist. Es ist ersichtlich, dass die chemisch nachweisbaren Verunreinigungen der Brunnen in einem feinporösen Boden vielfach einer weit früheren Periode angehören, als der, in welcher sie aus dem Untergrunde geschöpft werden, dass ferner mit einem grösseren Wassergehalt des Bodens, mit einer grösseren Niederschlagsmenge das Eindringen von Verunreinigungen in Grund- und Brunnenwasser beschleunigt und auch vermehrt wird. Mit Rücksicht darauf, dass die organischen Verunreinigungen den Boden nicht in dieser integren Weise durchwandern wie das Kochsalz, sondern von demselben zurückgehalten werden, muss die Bewegung dieser Stoffe nach abwärts noch langsamer erfolgen.

Die organischen Beimengungen unterliegen im Boden einer doppelten Beeinflussung von Seite desselben, sie werden vom Boden absorbirt und chemisch verändert.

II. Absorption der organischen Stoffe im Boden.

Die Agriculturchemie hat der Frage der Absorption des Bodens ihre besondere Aufmerksamkeit zugewandt, seitdem durch die Arbeiten von Huxtable, Thomson, Way und Liebig eine mächtige Anregung hierzu gegeben worden war; sie erklärt sie als eine Eigenschaft des Bodens, die darin besteht, gelöste Stoffe sehr verschiedener Art, vorzüglich aber anorganische Substanzen, unter ihnen eine Reihe von Pflanzennährstoffen, in sich niederzuschlagen, so dass die durchfiltrirende Lösung weit ärmer an diesen gelösten Stoffen wieder aus der Erde austritt[1]. Diese Absorption ist constatirt für die Basen Ammoniak, Kali, Natron, Kalk und Magnesia und für die Säuren Kieselsäure und Phosphorsäure.

Diese Absorptionserscheinungen, die für die Fruchtbarkeit des Bodens eine so grosse Bedeutung haben, beruhen theils auf physikalischen, theils auf chemischen Vorgängen. Physikalisch scheint es vorwiegend die Flächenattraction zu sein, die hier zur Wirkung kommt; hierfür spricht unter anderem, dass der Boden je nach seiner mechanischen Beschaffenheit, seiner Porosität verschiedene Wirkung zu äussern vermag, dass die feine Vertheilung der Bodenpartikel, die einer Vergrösserung der Gesammtoberfläche entspricht, besonders auf die Absorption wirkt, dass die Absorption eine grössere wird, wenn man die salzhaltigen Flüssigkeiten allmählich durch den Boden filtrirt, als wenn man diese beiden mit einander schüttelt. Chemisch sind hierbei die im Ackerboden enthaltenen wasserhaltigen Doppelsilikate (Zeolithe) wirksam, bestehend aus kieselsaurer Thonerde einerseits, kieselsaurem Kalk oder Alkali andererseits. Die in denselben nur sehr locker gebundenen Monoxyde lassen sich nicht schwer durch gewisse Basen (Kali, Natron, Ammoniak), die sich in den zu absorbirenden Flüssigkeiten als Salze befinden, verdrängen. Die Humussäure sodann und die hydratische Kieselsäure wirken absorbirend auf Carbonate und Oxydhydrate der alkalischen Erden und Alkalien, insofern die Humate und Silicate schwerer löslich sind als jene. Der kohlensaure Kalk und das Eisenoxydhydrat wirken absorbirend auf die Phosphorsäure.

Einer ähnlichen Absorption unterliegen nun auch die organischen Substanzen, die in den Boden eindringen. Schon um 1685 schilderte

---

1) A. Mayer, Lehrbuch der Agriculturchemie. III. Aufl. Bd. 2. S. 79.

Portius[1]) die Methode, deren sich die Venetianer bedienten, um ihrem Wasser den schlechten Geruch und Geschmack zu rauben, indem sie dasselbe durch eine Sandschicht in ihre Cysternen filtriren liessen. Gazzeri[2]) machte 1819 auf die Entfärbung der Jauche durch Thon aufmerksam, und Bronner[3]), der die auffallende Erscheinung zu erklären sucht, dass selbst bei völligem Durchdringen einer Bodenschichte von bestimmter Höhe von einer Düngerflüssigkeit die extractiven Düngtheile selten gleichmässig bis in die tiefste Schicht sich vertheilen, führt folgendes lehrreiche Experiment an:

„Man füllt eine Bouteille, die in ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit feinem Flusssande oder halbtrockener, gesiebter Gartenerde an. In diese Bouteille giesse man allmählich so lange dicken und ganz stinkenden Mistpfuhl, bis die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Oeffnung hervorkommende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigenschaft des Pfuhls gänzlich verloren haben."

„Sogar das Wasser der Seine in Paris, in welches so viele tausend Kloaken täglich abfliessen, welches deshalb zu jedem ökonomischen Gebrauche untauglich ist, wird dadurch gereinigt und zu ökonomischen Zwecken brauchbar gemacht, dass man dasselbe in kegelförmige, in einem porösen Sandstein ausgehauene Behälter bringt, durch welche das Wasser langsam durchdringt und als klares, ziemlich geschmack- und geruchloses Wasser aufgefangen wird."

Die Frage der Flussverunreinigung hat sodann zu ausgedehnten experimentellen Arbeiten auf diesem Gebiete geführt, und es waren besonders die höchst bedenklichen Erscheinungen der Verunreinigung englischer und schottischer Flüsse durch Abwässer der Industrie und der städtischen Kanäle, die sehr umfangreiche und bedeutsame Untersuchungen anregten und deren Resultate so ziemlich maassgebend für die weitere Entwickelung dieser Frage waren.

Die durch den Boden erfolgende Filtration von Spüljauche, Kanalwasser hat sich nicht etwa als eine nur rein mechanische Filtration erwiesen, die nur zur Zurückhaltung der suspendirten Bestandtheile führt, sondern sie hat auch das abfliessende Wasser viel ärmer an organischen Stoffen erscheinen lassen, ja dasselbe mitunter

---

1) De militis in castris sanitate tuenda, auctore Luca Antonio Portio. Vienna 1685.

2) A. Orth, Landwirthschaftliche Versuchsstationen. XVI.

3) Der Weinbau am Haardtgebirge von Landau bis Worms, dargestellt von J. Th. Bronner. Heidelberg 1836. III. Heft. S. 44.

vollständig von ihnen befreit (vergl. dieses Handbuch II. 1. 3. Städtereinigung. S. 227 ff.).

Dass es sich hierbei aber wirklich vorerst nur um eine Absorption, nicht um eine sofortige Zerstörung der Stoffe handelt, erhärtet SOYKA [1]) durch den Nachweis der unveränderten Stoffe im Boden, durch die Extraction derselben mit geeigneten Lösungsmitteln. Ferner geben die Analysen der verunreinigten Boden den entsprechenden Beleg hierfür. WOLFFHÜGEL [2]) hat Untersuchungen von Boden vorgenommen, die entsprechend ihrer Lage mehr oder weniger Verunreinigungen ausgesetzt waren.

1 Cubikmeter Boden enthält in Kilogramm:

Boden	Tiefe, aus der die Probe entnommen Meter	Gesammtmenge	Im kalten Wasser löslich				Im kalten Wasser unlöslich	
			Glühverlust	Organ. Substanzen	Chlor	Salpetersäure	Glühverlust	Stickstoff
Normalboden . . .	3,7	0,211	0,052	0,118	0,010	0,012	1,504	0,014
Unter modernem Kanal	3,6	0,217	0,091	0,093	0,021	0,018	3,356	0,055
Unter (dichter) Abtrittsgrube	2,4	0,603	0,185	1,257	0,110	0,019	5,461	0,060
4,5 Meter von einer Düngergrube entfernt	2,3	4,710	1,500	2,230	0,330	0,046	39,772	90,956

Zu analogen Befunden kam FODOR [3]) bei seinen Budapester Bodenuntersuchungen und EMMERICH [4]), welcher den Nachweis lieferte, dass der Zwischenboden unserer Wohnungen im Laufe der Zeit eine ausserordentliche Menge organischer Verunreinigungen in sich aufspeichert.

Die organischen Körper, die durch diese Vorgänge im Boden zurückgehalten werden, gehören den verschiedensten chemischen Gruppen an. FALK [5]) leitete durch in Glasröhren eingeschlossene Bodensäulen (Berliner Sandboden) von 60 Cm. Höhe und 3 Cm.

1) SOYKA, Die Untersuchungen zur Canalisation. München 1885, und Die Selbstreinigung des Bodens. Archiv f. Hygiene. II.

2) WOLFFHÜGEL, Die Verunreinigung des Bodens durch Strassenstaub, Abort- und Düngergruben. Zeitschrift für Biologie. XI.

3) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. II. Abtheilung. Braunschweig 1882.

4) EMMERICH, Die Verunreinigung der Zwischendecke. Zeitschrift f. Biologie. XVIII.

5) FALK, Experimentelles zur Frage der Canalisation mit Berieselung. Vierteljahrschrift für gerichtliche Medicin und öffentliches Sanitätswesen. N. F. XXVII.

Durchmesser und einem Rauminhalt von 300 Cbcm. verschiedene organische Stoffe hindurch, auf deren Anwesenheit er dann das Filtrat untersuchte. Folgende aufgegossene Stoffe waren — in unveränderter Form auch nach längerer Zeit — im Filtrat nicht nachzuweisen: Von flüchtigen Körpern sulfocarbonsaures Natron, Naphthylamin, Thymol; — Aethylenäther und Indol lieferten dagegen nur dann das entsprechende Resultat, wenn sie in grösserer Verdünnung aufgegossen wurden. Von Alkaloiden verschwand Strychnin und Nicotin im Boden, von den ungeformten Fermenten Emulsin, Myrosin, Speichel; die Flüssigkeit hatte nach dem Filtriren durch den Boden ihre Spaltungsfähigkeit verloren (Salicin und Amygdalin dagegen nicht). Endlich untersuchte er auch gewisse hypothetische Fermente, die bisher nur durch ihre pathogene Wirkung gekannt waren, ein albuminöses Ferment, welches febrile Temperaturen erzeugt und nach Senator durch Extraction von tuberculösen Sputis mit Glycerin gewonnen wurde, ferner ein nach Hiller bereitetes septisches Glycerinextract; diese beiden büssten durch die Bodenfiltration ihre Wirkung ein. Er machte ferner die Bemerkung, dass Blut, Blutfarbstoff, Eiweiss im Boden zurückgehalten wird, Glycerin und Fett aber durch denselben hindurchgeht.

Soyka (l. c.) erweiterte diese Versuche mit Rücksicht auf die Alkaloide, indem er das gleiche Verhalten von Chinin, Morphin und Atropin (in ihren Sulfaten), Pyridin und schwefelsaurem Pyridin, Piperidin und salzsaurem Piperidin, schwefelsaurem Chinolin und salzsaurem Cinchonin nachwies und zwar sowohl für Kiesboden als auch für Torf.

Die Grösse der Absorption organischer Stoffe hängt ebenso wie die der anorganischen von der physikalischen und wohl auch mineralogischen Bodenbeschaffenheit ab. Bei den mit Alkaloiden angestellten Versuchen, bei denen die Grösse der Absorption für die einzelnen Gifte constatirt werden sollte, fand Soyka ein Absorptionsvermögen bei grobporösem Kiesboden (1—2 Mm. Korndurchmesser) von 0,35%, bei feinporigem Boden von 0,42 Gewichtsprocenten Strychninsulfats. Ein noch viel grösseres Absorptionsvermögen ergaben die an organischen Stoffen reichen Bodenarten, wie Torf. Bei diesen Versuchen ergab sich auch, dass für die G r ö s s e der Absorption die Art und Weise des Durchtretens der Flüssigkeit von Einfluss ist, analog wie dies Kühn-Zalomonoff für die anorganischen absorbirbaren Stoffe nachgewiesen[1]. Eine Strychninlösung allmählich in

1) Berichte des landwirthschaftlichen Instituts in Halle. 2. Heft.

Portionen zu 10 Cbcm. aufgegossen liess 3,3 Grm. Strychninsulfat im Kiesboden zur Absorption gelangen; rasch in einer Menge von 200 Cbcm. aufgegossen, wurden weniger als 2 Grm. absorbirt.

Die Bodenabsorption wächst auch mit der Concentration der aufgegossenen Lösung. Für die absorbirbaren organischen Stoffe hat Lissauer (l. c.) den Beweis folgendermaassen erbracht: Drei gleich grosse Bodenproben wurden von ihm mit je 200 Cbcm. Harnstofflösung von verschiedener Concentration (1 %, 2 % und 3 %) übergossen und im Filtrat die durchgegangene Harnstoffmenge bestimmt. Das Resultat ist in folgender Tabelle enthalten:

Versuchs-nummer	Die aufgegossene Flüssigkeit von 200 Cbcm. enthielt Harnstoff		Das Filtrat enthält Harnstoff in Grm.	Der Boden enthielt in den zurückgehaltenen 137 Cbcm. Flüssigkeit an Harnstoff	
	in Grm.	in %		Grm.	%
1	2	1	0,353	1,645	1,2
2	4	2	0,6764	3,3236	2,4
3	6	3	1,132	4,868	3,5

In diesen Versuchen geht die Zunahme der Absorption mit der der Concentration parallel einher.

Diese mit Zunahme der Concentration einhergehende Zunahme der Absorptionsfähigkeit scheint jedoch nur innerhalb gewisser Grenzen vor sich zu gehen, wenigstens bei gewissen organischen Verbindungen. Falk hat gezeigt, dass eine nach der Bodenbeschaffenheit verschiedene Verdünnung von Blutserum erforderlich war, um ein Hindurchtreten von Albumin und organischen Derivaten und eine faulige Umsetzung derselben hintanzuhalten. War z. B. das Filtrat eines fünffach verdünnten Serums so rein, dass es weder unzersetztes Eiweiss, noch organische Derivate enthält, Abdampfen und Glühen des Rückstandes kaum mehr die Spuren von organischem Kohlenstoff und Stickstoff ergibt, so enthielt das Filtrat bei einer nur vierfachen Verdünnung aufs Deutlichste unverändertes Albumin und putride Eiweissabkömmlinge und roch faulig. Es hängen diese Vorgänge schon mit den sub III zu schildernden Vorgängen der Zerstörung der organischen Substanzen zusammen.

III. Die Umwandlungen der organischen Stoffe im Boden.

Selbstreinigung des Bodens.

Vergleicht man bei den mit organischen Verunreinigungen angestellten Filtrations- oder Berieselungsversuchen die durch Analysen

bestimmten Stoffe in den Abwässern vor und nach der Filtration resp. Berieselung nach Menge und Beschaffenheit, so findet man, dass das Filtrat, das abfliessende Wasser, im Allgemeinen eine andere Zusammensetzung zeigt, dass gewisse Bestandtheile eine Zunahme, gewisse eine Abnahme erfahren, und dass auch chemische Körper auftreten, die in der ursprünglichen Flüssigkeit gar nicht vorhanden waren. So zeigen z. B. die organischen Stoffe, der organische Stickstoff und organische Kohlenstoff, das Ammoniak bedeutende Abnahmen, dagegen stellen sich im Filtrat neue Stickstoffverbindungen ein, die salpeter- und salpetrigsauren Salze.

Es sei aus den mit absteigender, intermittirender Filtration angestellten Versuchen Frankland's [1]) eine kleine Tabelle zusammengestellt, die diese Verhältnisse demonstrirt.

Die Zahlen geben die in 100 000 Theilen Wasser enthaltenen Bestandtheile an.

	Gelöste Stoffe	Organischer Kohlenstoff	Organischer Stickstoff	Ammoniak	Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten	Durchschnitt aus
Durchschnittliche Zusammensetzung des Kanalwassers vor der Filtration . . .	64,5	4,386	2,484	5,557	0	—
Absteigende Filtration durch eine 15′ hohe Sandschichte	78,5	1,033	0,330	0,621	3,512	16 Versuchen
Absteigende Filtration durch eine 15′ hohe Schichte von Sand und Kreide	96,8	0,726	0,113	0,035	3,814	12 „
Absteigende Filtration durch eine 5′ hohe Schichte von Erde von Beddington (sehr poröser Kies)	102,5	0,698	0,133	0,010	3,574	18 „
Absteigende Filtration durch eine 5′ hohe Schichte von Erde von Hambrook (leichter Sand von hellrother Farbe)	111,3	1,118	0,162	0,112	2,944	15 „
Absteigende Filtration durch eine 5′ hohe Schichte von Erde von Dursley (leichter, gelblich-brauner Lehm) .	102,1	0,709	0,188	0,209	4,054	28 „

Wenn wir diese Zahlen zu deuten versuchen, so gelangen wir zu folgender Annahme.

Das Wasser, das durch den Boden abfliesst, nimmt vorerst eine Reihe von Stoffen auf; denn die Menge der gelösten Stoffe im Filtrat

1) River Pollution Commission. Reports of the commissioners, appointed in 1868 to inquire into the best means of preventing the pollution of rivers.

übersteigt die des Kanalwassers um 20—70 %. Diese Zunahme ist aber wohl ausschliesslich anorganischer Provenienz, da sowohl der organische Kohlenstoff als auch der organische Stickstoff eine sehr bedeutende Herabminderung erfährt. Die Verminderung des organischen Kohlenstoffs kann bis 85 % der ursprünglichen Menge betragen, die des organischen Stickstoffs gar bis 95,5 %, ebenso verschwindet, wie ja bei der grossen Absorptionsfähigkeit des Bodens für Ammoniak erklärlich ist, der grösste Theil des Ammoniaks. Die Abnahme kann sogar an 100 % betragen.

Die Zunahme nun, die die Bodenfiltrate an gelösten anorganischen Stoffen erfährt, ist also zum grössten Theil darauf zurückzuführen, dass die Abwässer gewisse lösliche Bestandtheile des Filtermaterials (Kalk, Magnesia, Eisensalze) auflösen; aber doch nicht ausschliesslich. Denn es zeigen sich im Filtrat chemische Verbindungen in grösserer Menge, die im Boden gar nicht oder nur in Spuren vorhanden sind und die auch nicht in der zu filtrirenden Flüssigkeit vorhanden waren, die also erst im Boden durch gewisse mit der Filtration verbundene Vorgänge sich bilden; es sind dies besonders Nitrite und Nitrate. Diese Stoffe erscheinen im Filtrat mitunter in einer derartigen Menge, dass sie nicht dem Boden selbst entstammen können, sondern als Producte der Oxydation des in anderweitiger Form als Ammoniak oder als organischer Stickstoff vorkommenden Stickstoffs der aufgegossenen Flüssigkeit erscheinen.

Dieselben Veränderungen machten die Abwässer auch bei der Berieselung durch.

Das Berliner Rieselwasser enthielt in 100 000 Theilen [1]):

	Rückstand	Salpetersäure	Salpetrige Säure	Ammoniak	Reducirtes Kaliumpermanganat
Spüljauche aus dem Druckrohr in Falkenberg durch Papier filtrirt . .	107,06	0,25	0,0000	8,440	22,12
Mitte des nördlichen Sielgrabens . .	88,88	2,12	0,1500	1,600	4,46
Südlicher Sielgraben, 20 Schritte oberhalb der Mündung in die Wuhle .	88,26	1,30	0,1875	1,800	4,28

Die Abnahme sowohl des Ammoniaks als auch der organischen Substanzen geht mit der Zunahme der Nitrate und Nitrite einher.

Da es sich nun an der Hand der Bodenanalysen nachweisen lässt, dass die vorgefundenen Quantitäten von Nitriten und Nitraten

1) Die Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für öffentliche Gesundheitspflege zu Berlin über Canalisation und Berieselung. Berlin 1883.

keineswegs Auslaugungs- oder Zersetzungsproducte des Bodens sein können, da ferner durch Versuche von Boussingault [1]), Schlösing [2]) constatirt ist, dass der Stickstoff der Luft keineswegs zur Bildung dieser Nitrate und Nitrite verwendet wird, so hat die Annahme, es handle sich hier um Veränderungen, die die stickstoffhaltigen organischen Substanzen im Boden erfahren, um so mehr Berechtigung, als ja auch in den natürlichen wie künstlichen Salpeterplantagen die stickstoffhaltigen, organischen Stoffe als die Quelle der Salpeterbildung angesehen werden, und damit wäre schon ein Anhaltspunkt für die „Selbstreinigung des Bodens“ gegeben.

Die Umwandlung von organischem Stickstoff in Nitrite und Nitrate erfolgt jedoch schon in Flüssigkeiten, wie Goppelsröder [3]) bewiesen. Harn, der frei von fremden Bestandtheilen sich selbst überlassen ist, lässt bereits nach Ablauf eines Tages Nitrite und nach längerer Zeit Nitrate in sich nachweisen. Ein ähnliches Resultat erhielt G. auch bei festen Excrementen, bei dem mit Wasser befeuchteten, der Luft ausgesetzten Guano. Dass aber der Boden bei diesem Vorgange eine Rolle spielt, wurde durch Schlösing und Müntz [4]) erwiesen, indem sie durch Zusatz von Gartenerde zu einer bisher nicht nitrificirenden Flüssigkeit die Nitrification sehr rasch in Gang setzten. Soyka (l. c.) hat dann gezeigt, dass diese Nitrification nicht blos für die stickstoffhaltigen Körper der Abwässer gelte, sondern dass auch Alkaloide, wie Strychnin, Chinin, Morphin u. s. w., diesem Umwandlungsprocesse im Boden unterliegen, freilich, mitunter erst, nachdem sie ein Zwischenstadium, eine Umwandlung in Ammoniak, durchgemacht. In gewissen an organischen Stoffen sehr reichen Bodenarten, z. B. dem Torfe, scheint der Process mit der Ammoniakbildung beendet zu sein und stellt sich die Nitrification auch nach längerem Zeitraum nicht ein.

Einen weiteren Anhaltspunkt finden wir sodann in dem Auftreten eines anderen Oxydationsproductes, das als letztes Zersetzungsproduct organischer Stoffe angesehen werden muss, in dem Vorkommen von Kohlensäure im Boden.

Seit den Untersuchungen von Boussingault und Levy [5]) wissen wir, dass die Ackerkrume einen weit grösseren Gehalt an Kohlensäure enthält als die atmosphärische Luft; während der Kohlensäure-

1) Comptes rendus. Tom. XXVI. p. 22.
2) Annal. de Chimie et Phys. XXXIV.
3) Verhandl. der Naturforschergesellschaft in Basel. III. 1861.
4) Comptes rendus. LXXXIV.
5) Annal. de chimie et physique. [3.] XXXVII.

gehalt der atmosphärischen Luft zwischen 0,3—0,4 ‰ schwankt, fanden diese beiden Forscher 9—22 ‰. Diese Kohlensäure ist nun ebenfalls als Endproduct der Zersetzung organischer Verbindungen anzusehen. PETTENKOFER[1]) wies nach, dass sie nicht etwa dem Kohlensäuregehalt des Grundwassers ihre Entstehung verdanke, da nach experimentellen Untersuchungen die Menge der Kohlensäure, die dasselbe an die Bodenluft abgeben kann, um 48—50 % kleiner ist, als der von ihm gefundene Kohlensäuregehalt der Grundluft. Er zeigte ferner, dass dieser Kohlensäuregehalt seine Entstehung Vegetationsvorgängen im Boden und nicht etwa der Absorption aus der atmosphärischen Luft verdankt, da z. B. der Kohlensäuregehalt der Bodenluft im vegetationslosen Wüstenboden (in einer Tiefe von etwa 1 Meter) kein anderer ist, als der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft (nur mit 1 ‰), während die Luft aus dem vegetirenden Boden der Oase einen vermehrten Kohlensäuregehalt nachweisen liess[2]).

MÖLLER[3]) und WOLLNY[4]) bestätigten diesen Befund und dessen Deutung auf experimentellem Wege, indem sie nachwiesen, dass die Luft im rein mineralischen, im ausgeglühten Boden nicht viel reicher an Kohlensäure sei als die Atmosphäre, dass dagegen Bodenarten, welche organische Beimengungen enthalten, eine stetige Quelle zur Bildung der Kohlensäure sind, so dass man durch Zuführung organischer Substanzen den Kohlensäuregehalt der Bodenluft beträchtlich erhöhen könne und dass diese Erhöhung annähernd gleichen Schritt halte mit dem grösseren Gehalte an organischen Substanzen im Boden.

Nitrification und Kohlensäurebildung sind also jene zwei Endprocesse, in welchen die Mineralisirung der organischen Substanzen culminirt, und welche also das hygienisch so bedeutungsvolle Problem der „Selbstreinigung des Bodens“ zur Lösung bringen; deshalb, aber auch wegen der mannigfaltigen Analogien und Beziehungen zu gewissen epidemiologischen Thatsachen verdienen sie unsere besondere Beachtung.

---

1) PETTENKOFER, Ueber den Kohlensäuregehalt der Grundluft im Geröllboden zu München. Zeitschrift für Biologie. VII.

2) Idem, Ueber den Kohlensäuregehalt der Luft in der Libyschen Wüste. Ebenda. XI.

3) MÖLLER, Ueber die freie Kohlensäure im Boden. Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen in Oesterreich. 1878. 2. Heft.

4) WOLLNY, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. XXV.

Es ist nur als eine natürliche Consequenz der in den vorausgegangenen Capiteln geschilderten Vorgänge zu betrachten, dass alle oder fast alle der dort behandelten Factoren Einfluss auf den Ablauf dieser beiden Processe nehmen — so weit unsere bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen reichen.

Nehmen wir zuvörderst den mineralogischen resp. chemischen Charakter des Bodens, so ersehen wir durch die Untersuchungen Fittbogen's [1]), dass die Anwesenheit von kohlensaurem Kali ein Maximum der Nitrification herbeiführe, welchem dann in absteigender Reihe folgen: kohlensaurer Kalk, gebrannter Kalk, gebrannte Magnesia. Das Minimum gab kalkfreier Quarzsand. Pichard [2]) hat mehrere Jahre später dann folgende Reihe aufgestellt. Ist die nitrificirende Kraft bei Zusatz von Calciumsulfat = 100, dann ist sie bei Zusatz von Natriumsulfat = 47,91, von Kaliumsulfat = 35,78, von Calciumcarbonat = 13,32, von Magnesiumcarbonat = 12,52. Dass es in dem an organischen Substanzen so reichen Torfboden überhaupt nicht bis zur Nitrification kommt, sondern die Zersetzung mit der Ammoniakbildung beendet ist, wurde schon S. 186 erwähnt; dabei ist aber beim Torf gegenüber dem mineralischen Boden zu beachten, dass die Zersetzung in demselben nur langsam fortschreitet und dass die organischen Stoffe (Alkaloide) lange in demselben nachweisbar blieben.

Für die Kohlensäurebildung tritt der chemische Charakter des Bodens weniger in den Vordergrund, wohl aber für die Ansammlung derselben (vergl. S. 195); insofern doch, als humusreiche Boden durch ihren Gehalt an organischen Substanzen auch eine ergiebige Quelle der Kohlensäurebildung darbieten.

Dass bei einem Vorgange, der auf einer lebhaften Sauerstoffaufnahme begründet ist, die Porosität und besonders auch die Permeabilität des Bodens für Luft eine Rolle spielen muss, ist erklärlich. Bezüglich der Nitrification liegt schon in den auf S. 186 angeführten Versuchen, die den Einfluss des Bodens überhaupt documentiren, ein Beleg hierfür. Es werden hier aber zwei Momente zu berücksichtigen sein. Der gesteigerte Luftzutritt, der durch die Permeabilität des Materials, durch Ventilation herbeigeführt werden kann, sodann aber die Möglichkeit, eine möglichst grosse Menge der organischen zu mineralisirenden Substanzen derart im Boden zu vertheilen, dass sie eine möglichst grosse Berührungsfläche mit dem

---

1) Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1874.

2) Comptes rendus. XCVIII.

Sauerstoff der Luft erhält. Es wird also wieder die Grösse des Korns, die absolute Wassercapacität, das Verhältniss des capillar zurückgehaltenen Wassers zur im Boden noch vorhandenen Luftmenge zu berücksichtigen sein.

Nach SOYKA [1]) hatte die Nitrification in vier durch ihre Korn- resp. Porengrösse und durch ihre Wassercapacität verschiedenen Bodenarten (Münchener Glacialschotter) folgenden Ablauf genommen:

Korngrösse (Durchmesser)	Porenvolumen	Kleinste Wassercapacität in % des Porenvolums	Gebildeter Stickstoff in Form von Nitriten und Nitraten an 1 Liter Harn	
			nach 18 Tagen	nach 36 Tagen
Meter			Mgrm.	Mgrm.
4—6	35,0	5,7	180	690
2—4	36,4	7,17	480	1090
1,2—2	36,9	13,6	680	—
0,6—1,2	37,9	29,8	860	1650

Auch PICHARD (l. c.) bemerkt, dass ein Boden, dessen Körner nur 1 Mm. Durchmesser besitzen, bedeutend rascher nitrificirt als ein grobkörniger von 1—3 Mm. Durchmesser.

Ganz analoge Resultate erhielt WOLLNY [2]) bezüglich der Kohlensäurebildung. Er verglich fünf nach ihrer physikalischen Structur verschiedene, sonst aber identische Bodenarten (Gemenge von Quarzsand und Torfpulver). Die Kohlensäurebildung nahm hierbei mit der Feinheit des Korns nachweislich zu:

Korngrösse in Mm. . .	2—1,0	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,00	2—0,0
Gebildete Kohlensäure auf 1000 Vol. berechnet	1,08	1,39	1,89	2,49	1,86

Diese mit der Zunahme der Wassercapacität parallel einhergehende Steigerung in der Mineralisirung organischer Substanzen im Boden ist zum Theil darauf zurückzuführen, dass in den entsprechenden Bodenarten die Flüssigkeit auf einer grösseren Fläche der Einwirkung des Sauerstoffs ausgesetzt ist, zum Theil auch darauf, dass in den Bodenarten mit feineren Poren, mit einer grösseren Wassercapacität auch eine grössere Menge Flüssigkeit zurückgehalten wird.

---

1) SOYKA, Ueber den Einfluss des Bodens auf die Zersetzung organischer Substanzen. Zeitschrift für Biologie. XIV.

2) WOLLNY, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Eigenschaften des Bodens auf den Gehalt an freier Kohlensäure. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. IV.

Es setzt aber voraus, dass stets ein gewisses Verhältniss zwischen Wasser und Luft aufrecht erhalten wird; ist die Menge des zurückgehaltenen Wassers derartig, dass sämmtliche Hohlräume mit Wasser erfüllt sind, wird z. B. die Flüssigkeit in Ueberschuss aufgegossen und deren Abfluss gehindert, dann ist gewissermaassen die Porosität des Bodens eliminirt und mit ihr auch die begünstigende Wirkung auf die Mineralisirung. Es geht dies aus folgendem Versuche hervor [1]):

Versuchsflüssigkeit		Unter Mitwirkung der Porosität	Nach Aufhebung der Porosität
Harn 10 fach verdünnt	Erstes Auftreten von Nitriten	am 5. Tage	am 23. Tage
	" " " Nitraten	" 7. "	" 33. "
Harn 100 fach verdünnt	" " " Nitriten	" 5. "	" 10. "
	" " " Nitraten	" 5. "	" 27. "

Dem analog fanden Schlösing und Müntz [2]), dass eine Austrocknung des Bodens die Nitrification verhindert, dass eine Steigerung mit dem Wassergehalte des Bodens einhergeht, so lange eben noch Luftcirculation möglich ist und dass mit dem Ueberschreiten dieses Punktes die Nitrification aufhört. Darauf beruht auch der günstige Erfolg der absteigenden, intermittirenden Filtration gegenüber der aufsteigenden continuirlichen.

Auch für die Kohlensäurebildung gelangen Möller (l. c.) und Wollny (l. c.) zu dem Resultate, dass die Anwesenheit von Wasser zum Zustandekommen derselben unerlässlich ist, dass aber ein derartiger Ueberschuss an Wasser, welcher den Luftzutritt zu den Poren verhindert, die Kohlensäurebildung wieder herabsetzt.

Ein äusserer, in den wechselnden Bodenverhältnissen gelegener Factor, der ebenfalls von grosser Bedeutung für den Ablauf der Mineralisirung organischer Stoffe im Boden ist, ist die Temperatur. Es sind gewisse Temperaturintervalle, die auf die Mineralisirung der organischen Stoffe beschleunigend wirken.

Als unterste Grenze der Nitrification stellen Schlösing und Müntz [2]) eine Temperatur von $+5^0$ auf, unterhalb dieser sei die Bildung von Nitriten und Nitraten gleich 0, bei 12^0 wird der Process bereits ein deutlich wahrnehmbarer und erreicht sein Maximum bei 37^0; von da erfolgt eine rasche Abnahme, so dass bei 45^0 be-

1) Soyka l. c.

2) Comptes rendus. LXXXIX.

reits weniger Nitrate gebildet werden als bei 15°, bei 50° bilden sich nur Spuren, bei 55° hört die Bildung auf.

Warington[1]) hat auch das zeitliche Moment in Berücksichtigung gezogen. Eine Lösung von 640 Mgrm. Salmiak im Liter war bei 10° in 78 Tagen nitrificirt, bei 30° in 19 Tagen. Eine Lösung von 18 Mgrm. im Liter war bei 10° in 31 Tagen, bei 30° in 12 Tagen nitrificirt.

Von der Kohlensäureproduction hat Möller (l. c.) nachgewiesen, dass sie mit der Gefriertemperatur nahezu aufgehoben wird. Die Untersuchungen Wollny's (l. c.) führen dann den Beweis, dass dieselbe unter gleichen äusseren Verhältnissen im Allgemeinen mit der Temperatur steigt und fällt, und zwar hat noch eine Temperatur von 50° (Wollny) resp. 60° (Möller) Einfluss auf die Kohlensäurebildung.

Wollny hat künstliche, mit Wasser imprägnirte Bodengemische, welche unter sonst gleichen Bedingungen in ihrer Kohlensäureproduction ausserordentliche Uebereinstimmung zeigten, verschiedenen Temperatureinflüssen ausgesetzt und hierbei folgende Resultate erzielt:

Kohlensäuregehalt für 1000 Volumen Bodenluft.

	Temperatur						
	−10°	± 0	10	20	30	40	50
2. Composterde Wassergehalt 6,79%	—	—	2,03	3,22	6,86	14,69	25,17
2. {Kalksand mit} " 13,09%	—	—	5,42	11,56	20,73	32,04	42,42
3. {Torfpulver} " 16,93%	1,21	2,09	3,14	4,01	5,69	—	—
4. Composterde " 26,79%	—	—	18,38	54,24	63,50	80,06	81,52
5. " " 43,13%	0,98	1,36	2,43	3,58	8,94	—	—
6. " " 44%	—	—	2,80	15,46	36,24	42,61	76,32
7. " " 46,79%	—	—	35,07	61,49	82,12	91,86	97,48

Die Kohlensäureproduction bei 50° übertrifft nach dieser Tabelle die bei 10° um das 3- bis 28fache.

Die Bedingungen für die Umwandlung der organischen Stoffe in mineralische liegen aber zum Theil auch in diesen selbst.

Zuvörderst wird sich schon ihre chemische Natur geltend machen, sowohl nach Schnelligkeit der Umwandlung als nach Art der Umwandlungsproducte. Soyka[2]) hat gezeigt, dass manche der vom

1) Chem. News. XXXIX.

2) Soyka, Selbstreinigung des Bodens. Untersuchungen zur Canalisation. München 1885.

Boden zurückgehaltenen Alkaloide ziemlich direct und rasch in Nitrate überführt werden, wie Strychnin, Pyridin, Cinchonin, andere dagegen, z. B. Chinin, erst eine längere Zeit als Ammoniak im Boden persistiren.

Dann aber kommt es wesentlich auch an auf die Art und Weise, wie sie dem Boden einverleibt werden, insbesondere auf den Concentrationsgrad der Lösung. Je concentrirter die Lösung, desto schwieriger wird nach den bisherigen Erfahrungen die Oxydation vor sich gehen, je verdünnter desto leichter (vergl. dagegen den Einfluss der Concentration auf die Absorption S. 183). Für die Nitrification liegt ein Beleg hierfür in den Versuchen Soyka's [1]). Harn wurde theils unverändert, theils in verschiedenartiger Verdünnung im Boden den gleichartigen günstigsten Bedingungen der Nitrification unterworfen mit folgendem Resultat:

Concentrationsverhältniss	Erstes Auftreten von Salpetersäure im Boden
Harn unverdünnt . . . = 100 %	nach 2 Monaten noch nicht nachweisbar
Harn zur Hälfte verdünnt = 50 %	" " " " " "
Harn . . . . = 10 %	am 7. Tage
Harn . . . . = 1 %	" 4. "

Es ist daraus ersichtlich, dass wir — durch einfache Concentrationsänderung — im Stande sind, den Ablauf der Processe wesentlich zu beschleunigen und auch vollständig zu sistiren, eine Thatsache, die auch durch Warington ihre Bestätigung fand.

Auf dieselben Ursachen ist wohl auch die Steigerung der Kohlensäureproduction zurückzuführen, welche Möller und Wollny bei Erhöhung des Wassergehalts des Bodens gefunden haben. Bei diesen Versuchen, in welchen lufttrockener Boden mit wechselnden Quantitäten destillirten Wassers versetzt wurde, mussten offenbar die löslichen organischen Substanzen in wechselnde Concentrationsgrade gebracht worden sein. Je grösser der Wassergehalt, desto geringer die Concentration, desto verdünnter waren die Lösungen und desto grösser war auch die Kohlensäureproduction.

Die S. 191 angeführte Tabelle Wollny's über den Einfluss der Temperatur gibt uns auch ein Bild über den Einfluss der Feuchtigkeit, wenn wir die senkrecht unter einander stehenden Zahlen mit einander vergleichen; wir haben dann die Kohlensäureproduction bei gleicher Temperatur und verschiedenem Wassergehalt.

1) Zeitschrift f. Biologie. XIV.

Doch sind nicht alle Zahlen vergleichbar, da nicht immer derselbe Boden zu Grunde liegt, und insofern sind nur die Versuche 1. 6. 7 zu einander in Beziehung zu bringen.

Dass schliesslich ein Zuviel des Wassers die Kohlensäureproduction wieder hemmt, ist wohl darauf zurückzuführen, dass dann die Porosität des Bodens eine zu grosse Einbusse erfährt, ja selbst aufgehoben wird.

Das endliche Schicksal, das die mineralischen Endproducte der organischen Substanzen erfahren, ist von selbst gegeben. Die Nitrate und Nitrite werden entweder von den Pflanzenwurzeln sofort aufgenommen, wie dies bei der Berieselung, bei der Bepflanzung des Bodens geschieht, oder aber sie werden, da sie nicht absorptionsfähig sind, allmählich durch die Niederschläge ausgelaugt und gehen so in unsere Grundwässer (Brunnen), Bäche, Flüsse über. Die Brunnenanalysen können uns deshalb, wenn sie systematisch durch längere Zeit vorgenommen werden, ein Bild über den Ablauf der Bodenverunreinigung und Selbstreinigung des Bodens geben.

Die Kohlensäure, ein gasförmiger Körper mit der Tendenz der Expansion und Diffusion, muss sich natürlich anders verhalten. Es ist, besonders durch die Untersuchungen PETTENKOFER's (vergl. S. 187), dem Vorkommen der Kohlensäure im Boden und deren periodischen Schwankungen eine grosse Aufmerksamkeit zugewendet worden und es liegen zahlreiche derartige, durch Jahre hindurch fortgesetzte Beobachtungen jetzt vor (PETTENKOFER, WOLFFHÜGEL, PORT in München, v. FODOR in Klausenburg-Budapest, FLECK in Dresden, NICHOLS in Boston u. s. w.).

Es lag nahe, aus der jeweiligen Kohlensäuremenge des Bodens einen Schluss auf die Grösse der Bodenverunreinigung zu ziehen. In gewissen Fällen ist dies auch richtig, so sehen wir dies in den Versuchen MÖLLER's (l. c.), WOLLNY's [1]) und SMOLENSKY's hervortreten.

Letzterer [2]) fand bei Kohlensäurebestimmungen der Grundluft, die fast zu gleicher Zeit im Münchener Boden gemacht wurden, folgende gewaltige Differenzen:

1) WOLLNY, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. 1880.

2) J. SMOLENSKY, Ueber den Kohlensäuregehalt der Grundluft. Zeitschrift f. Biologie. XIII.

Versuchsstelle	Kohlensäuregehalt der Grundluft in Volumpromille
1. Station im physiologischen Institut	1,59
2. Neben der Abtrittsgrube einer Schule am Aengerwege	21,96
3. Zwischen neuen Gräbern auf dem südlichen Gottesacker . . .	84,82
4. Theresienwiese, an einer beim Octoberfest als Pissoir dienenden Stelle	101,96

Hier, wo so ziemlich in allen vier Fällen die Bedingungen, unter denen gearbeitet wurde, so weit sie sich auf die Beschaffenheit des Bodens und der äusseren meteorischen Elemente beziehen, dieselben waren, findet die Bodenverunreinigung im Kohlensäuregehalt in der That einen höchst prägnanten Ausdruck. Es kann eben diese Coincidenz nur dann gelten, wenn alle anderen Verhältnisse die gleichen sind. Da nun aber so viele Factoren, wie Porosität, Permeabilität, Temperatur, Wassergehalt, Concentration, auf die Kohlensäureproduction einwirken, diese aber nicht immer genau nach ihrem Einflusse differenzirt, genau abgewogen werden können, so erklärt es sich, warum der Kohlensäurebefund doch nicht als stricter Maassstab für die Bodenverunreinigung angesehen werden kann.

Für die Grösse der Kohlensäure, die bei Analysen der Bodenluft gefunden wurde, ist aber nicht blos die Kohlensäureproduction maassgebend, sondern auch die weiteren Schicksale der gebildeten Kohlensäure. Die Kohlensäure entströmt dem Boden und vermischt sich mit der atmosphärischen Luft und FODOR (l. c.) hat nachgewiesen, dass der Kohlensäuregehalt der Luft 2 Cm. über der Bodenoberfläche stets um das Doppelte oder fast um das Dreifache höher ist als in einer Höhe von 2 Metern. Dieses Ausströmen und Diffundiren der Kohlensäure in die oberhalb des Bodens befindliche Luft muss auf den quantitativen Befund der Kohlensäure im Boden von maassgebendem Einflusse sein. Je leichter der Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft zu erfolgen vermag, desto weniger wird es zu grossen Kohlensäureansammlungen im Boden kommen. Alle jene Momente nun, welche die Porosität und Permeabilität des Bodens für Luft beeinflussen, beeinflussen deshalb auch nicht nur die Kohlensäurebildung, wie S. 188 gezeigt wurde, sondern auch die Kohlensäureansammlung, also die wirklich nachzuweisende Kohlensäuremenge. Diese Momente sind der mineralogische Charakter des Bodens, die Porosität, die Permeabilität für Luft, der Wassergehalt, die Bedeckung des Bodens, die Temperatur, insbesondere die Beziehungen zwischen der Temperatur des Bodens und der der atmosphärischen Luft, die äusseren Luftbewegungen, die Winde.

Der mineralogische Charakter macht sich bei der Ansammlung der Kohlensäure nur insofern geltend, als er die Permeabilität des Bodens für Luft modificirt (vergl. S. 42) und fällt darin seine Rolle mit der, welche der Porosität und Permeabilität zugewiesen ist, zusammen. Pettenkofer[1]), Fleck[2]), Fodor[3]), Nichols[4]), Wolffhügel[5]) haben nachgewiesen, dass es in einem sehr porösen und permeablen Boden in Folge der gesteigerten Diffusion und Durchlüftung des Bodens zu geringeren Kohlensäureanhäufungen kommt als in einem dichteren, weniger permeablen; deshalb findet sich auch in den oberen Bodenschichten meist weniger Kohlensäure als in den tieferen, wenn nicht etwa die durch Temperaturverhältnisse gesteigerte Kohlensäurebildung dieses compensirt. Der Wassergehalt des Bodens, dessen Steigerung zu einer Herabminderung der Permeabilität führt, muss unter Umständen auch zu einer grösseren Kohlensäureansammlung führen. Lewis und Cunningham[6]) fanden bei ihren Kohlensäurebeobachtungen in Calcutta, dass daselbst in der Regenzeit die Verstopfung der Poren der oberen Bodenschichten zu einer gesteigerten Ansammlung von Kohlensäure führt. In ähnlicher Weise, besonders auf den Luftaustausch, wirkt auch die Pflanzendecke, doch modificirt diese auch die Kohlensäurebildung, indem sie auf die Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens einwirkt (Wollny)[7]).

Die Temperaturdifferenzen zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft bedingen ebenfalls den Luftwechsel. Im Winter ist der Kohlensäuregehalt der Grundluft nicht blos deshalb viel geringer als im Sommer, weil vielleicht bei niedriger Temperatur weniger Kohlensäure gebildet wird, sondern auch, weil die über dem Boden liegende

---

1) Pettenkofer, Ueber den Kohlensäuregehalt der Luft im Boden. Sitzungsberichte der k. k. Akademie. 1873.

2) Fleck, Boden- und Bodengasuntersuchungen. Jahresberichte der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873 u. 1874.

3) Fodor, Experimentelle Untersuchungen über Boden und Bodengase. Deutsche Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. VII.

4) Nichols, On the composition of the Groundatmosphere. Ann. Report of the Massach. state Board of health. 1875.

5) G. Wolffhügel, Ueber den Kohlensäuregehalt im Geröllboden zu München. Zeitschrift f. Biologie. XV.

6) F. R. Lewis and D. D. Cunningham, Cholera in relation to certain physical phenomena.

7) Wollny, Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

schwere Winterluft die wärmere Grundluft mehr verdrängt, und im Sommer sammelt sich mehr Kohlensäure im Boden, nicht nur, weil vielleicht mehr erzeugt wird, sondern auch, weil die darüber befindliche Atmosphäre wärmer und leichter als die Grundluft ist und diese viel weniger verdrängt und fortführt (Pettenkofer).

Bezüglich des Einflusses der Winde schliesst schon Pettenkofer aus seinen Untersuchungen, dass windige Tage den Kohlensäuregehalt der oberen Schichten verringern, und Wolffhügel[1]) findet durch anemometrische Beobachtungen, dass dem Sturme sowohl als auch den schwächeren Luftbewegungen in der Atmosphäre ein beständiges Wogen im Boden entspricht und dass die Luftbewegung im Freien ein fortwährendes Auswaschen der Grundluft mit atmosphärischer Luft hervorbringt.

Auf diese Weise etabliren sich im Kohlensäuregehalt des Bodens Schwankungen, die je nach dem Ueberwiegen des einen oder anderen, sei es für die Kohlensäure*bildung*, sei es für die Kohlensäure*ansammlung*, maassgebenden Factors ihren Charakter aufgeprägt erhalten.

Im Grossen und Ganzen tritt doch ein Factor mächtiger in die Erscheinung, der den Rhythmus der Kohlensäurecurve zu beherrschen scheint, die *Bodentemperatur*. Vergleicht man den Ablauf der Kohlensäureschwankungen im Boden in verschiedenen Tiefen mit den in diesen Tiefen vor sich gehenden Temperaturschwankungen, so ersieht man eine gewisse Uebereinstimmung, auf die schon Pettenkofer aufmerksam gemacht.

Es seien hier die 3jährigen Messungen Fleck's (l. c.) in Dresden angeführt (s. die Tabelle auf S. 197 und die Curve auf S. 198).

Der Parallelismus zwischen Kohlensäureschwankungen und Temperaturschwankungen ist besonders in der Tiefe von 2 und 4 Metern ein in die Augen springender; in der Tiefe von 6 Metern ist das Bild nicht mehr so prägnant, offenbar wirkt hier die Nähe des Grundwassers, das bereits in der Tiefe von 7 Metern sich zeigte, störend ein.

Dann sehen wir aber, dass, während die mittlere Bodentemperatur nur sehr unbedeutend mit der Tiefe zunimmt, der mittlere Kohlensäuregehalt dagegen sehr wesentlich ansteigt, in 4 Metern ungefähr das Doppelte des bei 2 Metern erreicht, in 6 Metern das $2\frac{1}{2}$fache. Es hängt dies wohl damit zusammen, dass der Austausch

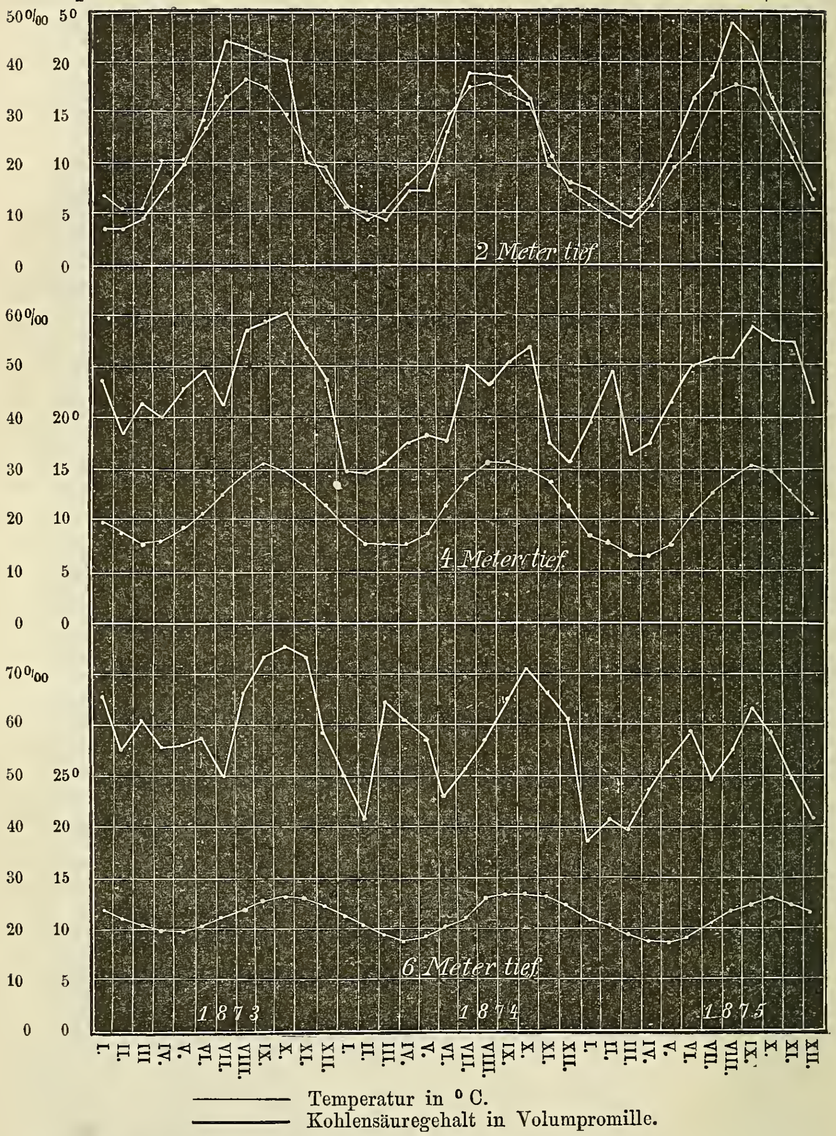
---

1) Wolffhügel, Ueber den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase. Bericht der 50. Naturforscherversammlung in München. 1877.

Kohlensäure- und Temperaturbestimmungen im Boden.
(Temperatur in ° C., Kohlensäure in Volumpromille.)

	Tiefe von 2 Metern		Tiefe von 4 Metern		Tiefe von 6 Metern	
	Temperatur	Kohlensäure	Temperatur	Kohlensäure	Temperatur	Kohlensäure
			1873			
Januar . . .	6,88	7,1	9,91	46,6	11,30	65,1
Februar . . .	5,30	7,0	8,58	36,6	10,48	55,1
März	5,29	8,7	7,61	42,5	9,81	60,2
April	10,19	14,5	7,86	39,9	9,36	55,0
Mai	10,07	18,8	9,07	44,8	9,42	55,5
Juni	13,28	28,4	10,45	48,3	9,83	56,5
Juli	16,18	44,3	12,35	42,2	10,50	48,9
August . . .	18,09	43,5	14,23	56,6	11,54	66,0
September . .	17,41	41,4	15,13	58,1	12,30	73,1
October . . .	14,84	39,8	14,64	60,1	12,75	75,1
November . .	11,12	20,1	13,20	53,5	12,64	72,6
December . .	8,01	19.3	11,28	47,3	12,01	56,8
Mittel	11,39	24,4	11,19	48	10,99	61,6
Amplitude . .	12,80	37,3	7,52	20,2	3,39	26,2
			1874			
Januar . . .	5,75	11,4	9,30	29,8	11,04	49,9
Februar . . .	4,82	10,1	7,82	28,6	10,05	41,2
März	5,11	10,2	7,50	30,3	9,20	64,2
April	7,61	14,3	7,36	34,7	8,82	62,5
Mai	9,66	14,2	8,74	36,1	9,08	56,8
Juni	14,70	26,1	11,40	35,1	9,96	45,5
Juli	17,41	37,5	13,66	49,8	10,87	51,5
August . . .	17,66	37,7	15,56	45,9	12,86	56,6
September . .	16,63	36,6	15,45	50,7	13,40	65,3
October . . .	15,67	32,0	14,90	53,9	13,17	70,9
November . .	10,55	19,0	13,55	34,9	13,00	66,4
December . .	7,28	15,2	11,22	31,1	12,20	61,2
Mittel	11,07	22,0	11,29	38,4	11,14	57,5
Amplitude . .	12,84	27,6	8,20	25,3	4,58	29,7
			1875			
Januar . . .	5,60	14,6	8,50	39,4	10,85	37,2
Februar . . .	4,63	11,4	7,85	48,8	10,20	41,0
März	3,56	9,1	6,74	33,6	9,30	39,4
April	5,89	13,6	6,60	35,1	8,67	46,7
Mai	9,54	21,8	7,79	42,8	8,67	52,8
Juni	10,98	32,6	10,28	50,3	9,01	58,4
Juli	16,62	36,6	12,63	52,4	10,59	49,3
August . . .	17,88	48,3	14,08	51,8	11,86	55,4
September . .	17,30	44,3	15,12	57,8	12,42	63,1
October . . .	14,40	32,4	14,80	55,4	12,90	58,4
November . .	10,06	24,0	12,80	54,8	12,22	49,7
December . .	6,30	14,2	10,40	43,1	11,67	40,9
Mittel	10,23	25,2	10,63	47,1	10,7	48,9
Amplitude . .	14,32	39,2	8,52	24,2	4,23	23,7

Fig. 13.
Temperatur und Kohlensäuregehalt des Bodens in Dresden 1873/75.



in den oberflächlichsten Schichten am mächtigsten, in der Tiefe dagegen sehr behindert ist.

Während demgemäss der Rhythmus im Ganzen und Grossen Uebereinstimmung zeigt, fehlt die Uebereinstimmung bezüglich der

Grösse der Schwankungen, was sich besonders auch darin documentirt, dass die Schwankungen der Temperatur mit der Tiefe wesentlich abnehmen, die der Kohlensäure dagegen nur in geringfügigem Maasse.

SECHSTES CAPITEL.

Boden und niedere Organismen.

Entsprechend dem S. 7 entwickelten Gesichtspunkte hätten wir in dem Verhalten des Bodens und der niederen Organismen zu einander eine der Hauptaufgaben hygienischer Forschung anzusehen, durch welche es ermöglicht werden könnte, den grössten Theil jener Beziehungen, durch welche der Boden als ätiologisches Krankheitsmoment in die Erscheinung tritt, aufzuklären. Allein gerade auf diesem Gebiete, wo die physikalisch-chemische Bodenforschung und die biologische Pilzforschung combinirt in die Action zu treten haben, ist diese combinirte Forschungsmethode kaum in den Beginn der Thätigkeit getreten, wie aus der folgenden Darlegung ersichtlich wird.

Die hier in Betracht kommenden Verhältnisse führen zur Aufstellung folgender vier Gesichtspunkte:

1. Das Vorkommen von niederen Organismen im Boden selbst.
2. Das Eindringen derselben in den Boden.
3. Das Austreten aus demselben.
4. Die etwaigen Beeinflussungen des Lebens und der Lebensthätigkeit niederer Organismen durch den Boden.

I. Das Vorkommen von niederen Organismen im Boden.

Dass im gewöhnlichen Boden niedere Organismen in reichlicher Anzahl vorkommen, ist bei der Ubiquität dieser letzteren und bei den vielfachen Wechselbeziehungen, in welche der Boden mit organismenführenden Gasen und Flüssigkeiten tritt, fast selbstverständlich, ja die niederen Organismen werden sogar mit als die schwer zu entbehrenden Vermittler der Vegetation höherer Pflanzen betrachtet, deren Aufgabe darin zu bestehen hat, die complexen organischen Verbindungen, die bei der Düngung in den Boden gelangen, erst in einfachere überzuführen, die erst von den Pflanzen aufgenommen werden können. Duclaux[1]) hat Versuche angestellt, bei

---

1) Comptes rendus. C.

welchen er unter Abhaltung aller Keime niederer Organismen einen sterilisirten Boden mit keimfreien, organischen Substanzen, Milch, Zucker, Stärkekleister, tränkte und sodann (mit Erbsen oder Bohnen) besäete. Diese Pflanzen schienen während dieser Versuchsperiode unfähig zu sein, von diesen Substanzen zu leben, sie blieben ebenso dünn und dürftig, wie in reinem Wasser keimende; ihr Gewicht in trockenem Zustande war stets geringer als das Gewicht des Samens, und zwar um so geringer, je länger sie am Leben erhalten wurden. Wenn wir ausserdem in Betracht ziehen, dass nach den Versuchen von Bouchardat[1]) und Cloëz[2]) die Lösungen der gewöhnlich benutzten Ammoniaksalze den Pflanzen keinen assimilirbaren Stickstoff liefern und dass Lösungen von $^1/_{1000}$, ja selbst $^1/_{10000}$ dieser Salze, wenn sie von den Wurzeln aufgesaugt werden, als energische Gifte wirken und die Pflanzen bald ertödten, so dass man zu der Annahme geführt wird, das Ammoniak müsse der Pflanze in einer besonderen Form, vielleicht in ganz verdünntem Zustande, dargeboten werden oder vorher in die salpetersaure Verbindung überführt werden, und wenn wir mit dieser letzteren Annahme die freilich nur indirecten Beweise der organisirten Natur der Nitrificatoren in Zusammenhang bringen, so wird die vermittelnde Rolle, die die Lebensthätigkeit niederer Organismen mit Rücksicht auf die Vegetation der höheren Organismen spielt, und damit ihre fundamentale Bedeutung für den Haushalt der Natur wohl einleuchtend.

Die Verbreitung der Organismen im Boden muss sowohl mit Rücksicht auf die örtliche Vertheilung im Boden, als auch in Bezug auf die Menge und die Arten der Organismen studirt werden.

Quantitative Bestimmungen über die Zahl der in einem bestimmten Boden vorkommenden Organismen sind nur in sehr geringer Zahl vorhanden. Miquel fand in Montsourris 0,20 Meter unter dem Rasen des Parkes 700 000 Schizophyten per Gramm Boden, in einer seit 10 Jahren mit Pariser Abwässern irrigirten Erde 0,10—0,12 Meter tief 870 000, in einem gedüngten Boden, aber ohne Irrigation, 900 000. Beumer[3]) fand in 1 Cbcm. ziemlich stark verunreinigten Bodens bis 45 Millionen entwickelungsfähige Keime.

Derartigen Zahlenangaben, die auch nur gewissermaassen Minima repräsentiren, können nur in einzelnen Fällen, wo es sich um Vergleiche handelt bei Gleichheit der übrigen Bedingungen, eine gewisse Bedeutung zugesprochen werden. Sollen sie allgemein verwerth-

1) Mémoire sur l'influence des composés ammoniacaux sur la végétation.

2) Leçons de la Société chimique. 1861.

3) Deutsche medicin. Wochenschrift. 1886.

bar sein, so ist noch die Differenzirung nach ihrer pathogenen oder nichtpathogenen Natur, die fernere Sonderung und Mengenbestimmung der einzelnen Arten nothwendig, ferner die Unterscheidung nach der biologischen Individualität, ob die Organismen in ihren vegetativen oder ihren Dauerformen vorhanden sind, endlich auch die Entscheidung, ob der jeweilige Reichthum an Organismen auf eine im Boden erfolgte frische Proliferation zurückzuführen ist oder nicht.

Die Vertheilung der Organismen im Boden erfolgt sowohl nach der Fläche als auch nach der Tiefe, wohl hauptsächlich bedingt durch die Bewegung von Flüssigkeiten; die Bewegung von Gasen, wie die der Luft scheint einen weit geringeren Einfluss zu nehmen, und wohl ebenso auch die durch Eigenbewegung und ferner durch Proliferation der Organismen selbst hervorgerufene Ortsbewegung resp. Verbreitung.

Wenn nun zwar für das Eindringen der Organismen in die Tiefe hauptsächlich der Wassertransport verantwortlich gemacht werden muss, so wird allerdings für den späteren Befund von Organismen in gewisser Tiefe auch die Lebens- und Conservirungsfähigkeit solcher Organismen unter denjenigen Bedingungen, die sich eben in gewissen Tiefen vorfinden, maassgebend sein. Es ist besonders zu berücksichtigen, dass in dem porösen Boden die Zusammensetzung der Bodenluft in der Tiefe eine andere ist als in der oberflächlichen Schicht, dass der Sauerstoffgehalt eine relative und auch absolute Abnahme erfahren, ja selbst vollständig verschwinden kann, dass dagegen der Kohlensäuregehalt, sowie der Gehalt an anderen Gasen, eine mitunter sehr bedeutende Zunahme erfährt (S. 69 ff.). Auf diese Weise werden manche Pilze bereits in geringer Tiefe auf Verhältnisse stossen, die ihnen ihre Existenz unmöglich machen, während andere, z. B. gewisse Anaeroben, vielleicht erst unter diesen Umständen zur Entwickelung gelangen.

Ueber die quantitativen Verhältnisse, soweit es sich um die Verbreitung der Organismen in der Tiefe handelt, liegen Untersuchungen von Koch[1]) vor, denen er jedoch, mit Rücksicht auf die geringe Zahl derselben, keine Allgemeingiltigkeit zuschreibt. Es zeigte sich, dass die oberen Erdschichten ausserordentlich reich an Mikroorganismen sind, dass aber dieser Reichthum an Mikroorganismen im Erdboden nach der Tiefe sehr schnell abnimmt, und dass kaum 1 Meter tief der nicht umgewühlte Boden fast frei von Bakterien ist;

---

1) Koch, Zur Untersuchung von pathogenen Organismen. Mittheilungen aus dem k. Gesundheitsamte. I.

selbst inmitten von Berlin, in Erdproben, die frisch aufgeworfenem Baugrunde — allerdings im Winter — entnommen waren, fanden sich in der Tiefe von 1 Meter keine Bacillen und nur ganz vereinzelte Colonien von sehr kleinen Mikrokokken nach der Aussaat auf Nährgelatine. Mit Rücksicht auf diese Umstände, da ja wenigstens die Dauerformen sich hätten nachweisen lassen müssen, findet Koch es fraglich, ob in den tieferen Bodenschichten viele Mikroorganismen existiren. Bei gewissen Bodenarten, welchen organismenreiche Flüssigkeiten direct zugeführt wurden, scheint dies aber doch der Fall zu sein. Untersuchungen, die in Paris[1]) in verschiedenen Bodentiefen in der Nähe der äusseren Wand eines Sammelkanals gemacht wurden, der seit einem Jahrhundert die Dejectionen einer Kaserne in die Seine führt, ergaben:

in einer Tiefe von 1 Meter an der Kanalwand:
64000 Mikroorganismen pro Gramm Boden,
in einer Tiefe von 2 Metern im äusseren Niveau der Sohle:
1000 Mikroorganismen pro Gramm Boden.

Einen noch grösseren Reichthum constatirte Beumer im Greifswalder Boden; er fand in einem stark verunreinigten Terrain in einer Tiefe von 3 Metern (sandiger Humus mit Vivianit) 44—45 Millionen pro Cbcm., in einer Tiefe von 4 Metern (Geschiebemergel) 10 Millionen, von 5 Metern 8 Millionen, von 6 Metern 5 Millionen. In einem anderen Bohrloch (in sandigem Geschiebemergel) fand er in der Tiefe von 4, 5 und 6 Metern je 1½ Millionen Keime pro Cbcm., in einem dritten, im Garten befindlichen Bohrloch (Geschiebemergel) bei 4 Met. Tiefe ¾ Million Keime, bei 5 Meter Tiefe 384 000 Keime, bei 6 Meter Tiefe 210 000 Keime. In einem Kirchhofsboden, in der Nähe von Leichen, die 1½ und 19 resp. 35 Jahre im Boden lagen, fand er bei 4′ Tiefe (humöser Sand) 1 248 000 Keime pro Cbcm., bei 5′ Tiefe (derselbe Boden) 1 344 000, bei 6′ Tiefe (gelblich-grauer Lehm) 260 000 Keime im Cbcm. Ein vergleichender Versuch im nicht verunreinigten Dünensand der Insel Rügen liess in Tiefen von 3—5′ nur 1000—2000 entwickelungsfähige Keime im Cbcm. entdecken, ein Beleg dafür, dass die Bodenverunreinigung auch wirklich den Pilzgehalt des Bodens steigert.

Von Bedeutung scheint zu sein, dass Mikrokokken und Bacillen nicht gleichmässig im Boden vertheilt sind. Koch (l. c.) findet, dass der auffallend grosse Reichthum an Organismen der obersten Erdschichten vorwiegend auf Rechnung der Bacillen zu schreiben ist. In ganz

1) Encyclopaedie chimique. IX. 1. Microbiologie par Duclaux. 89.

frisch entnommener Erde finden sich daneben auch Mikrokokken, aber fast immer in der Minderzahl. In Erdproben, die stark verunreinigten Stellen, z. B. einem mit Düngerjauche imprägnirten Orte, entnommen waren, übertrafen die Mikrokokken die Zahl der Bacillen, und es traten auch Schimmelpilze auf, das ist aber nur ein locales Vorkommen. Die Bacillen dagegen scheinen in den oberen Culturschichten von bewohnten Gegenden und überall, wo Garten- und Ackerbau getrieben wird, ganz constant und immer in grosser Menge vorzukommen, sie fanden sich im Thierarzneischulgarten in Berlin ebenso reichlich als in der Erde eines nicht mehr benutzten Begräbnissplatzes, in Bodenproben von Gärten und Aeckern, weit entfernt von bevölkerten Stellen.

Um die verschiedenen im Boden sich findenden Organismen nach ihren verschiedenen Arten zu specificiren, würde sich vom hygienischen Standpunkte als Eintheilungsprincip die Unterscheidung in saprophytische und parasitische resp. pathogene Mikroorganismen empfehlen. Die Existenz beider Arten im Boden ist nachgewiesen.

Zu den Saprophyten werden wir jene Organismen zu zählen haben, die die Umwandlung des organischen Stickstoffs in Nitrite und Nitrate, die Umwandlung des organischen Kohlenstoffs in Kohlensäure, die Reduction der Nitrate zu Nitriten und auch zu Ammoniak vermitteln (vergl. Cap. V). Allein die Existenz derselben im Boden ist bisher weniger durch directen Nachweis derselben oder gar durch Reincultur derselben erwiesen, als vielmehr indirect durch gewisse Eigenthümlichkeiten dieser Processe erschlossen.

Die auf S. 183 ff. geschilderten Vorgänge der Selbstreinigung des Bodens, soweit es sich um Nitrification und Kohlensäurebildung handelt, werden nämlich als das Product der Lebensthätigkeit niederer Organismen auf Grund folgender Beobachtungen und Experimente hingestellt.

1. Durch Anwendung hoher Temperaturen, welche die im Boden vorhandenen Keime von Organismen zerstörte, und bei fernerer Abhaltung der Keime aus der Luft wird die Nitrification aufgehoben. Schlösing und Müntz[1]) erhitzten verschiedene Proben von Ackererden im Oelbade auf 100°. Die eingeschlossene Luft wurde sodann durch andere Luft ersetzt, welche vorher durch rothglühende Metallröhren geleitet war. Nach mehreren Wochen konnte man constatiren, dass alle erhitzten Erden ihr Nitrificationsvermögen verloren hatten, die anderen nicht erhitzten dagegen nicht. Dagegen kann eine auf 100° erhitzte Erde ihr Nitrificationsvermögen durch frische Aussaat wieder erlangen. Ein Gemenge von Quarzsand und humussaurem Kalk wurde in zwei Gefässe gebracht und beide eine Zeit lang auf 100° erhitzt. Hierauf wurde der Sand in dem einen Gefäss mit einigen Cubikcentimetern Wasser, in welchen man 1 Grm.

1) Comptes rendus. LXXXV.

fruchtbarer Ackererde vertheilt hatte, versetzt; das andere Gefäss blieb hiervon frei und die Luft beider wurde durch ausgeglühte Luft erneuert. Die erstgenannte Probe lieferte nach einiger Zeit eine reichliche Menge Kohlensäure, die andere keine Spur davon.

Die Versuche Soyka's [1]) führten zu einem ähnlichen Resultate, sie zeigten, dass ein an und für sich nitrificirender Boden nach erfolgtem Glühen sich ganz analog verhalte wie irgend ein beliebiger anderer poröser Körper, z. B. Glassplitter.

Versuchsanordnung		Erstes Auftreten von Salpetersäure nach Aufgiessen von 10 % Harn
Röhre gefüllt mit Glassplittern " " " " und geglühtem Kiesboden.	freier Luftzutritt.	nach 6 Wochen.
Rohre gefüllt mit geglühtem Kiesboden.	Abhaltung von Luftstaub.	nach 3 Monaten noch nicht nachweisbar.
Rohre gefüllt mit geglühtem u. ungeglühtem Kiesboden.	freier Luftzutritt.	am 7. Tage.

Soyka (l. c.) behandelte ferner die zu nitrificirende Flüssigkeit (Harn von verschiedener Concentration) derart, dass er dieselbe bis zur Siedetemperatur erhitzte und durch einen Wattapfropf vor dem Eindringen von Staubtheilchen aus der Luft schützte. Je nachdem, ob er nun den nitrificirenden Boden vor oder nach dem Kochen zusetzte, trat die Nitrification ein oder blieb sie aus, wie folgende Tabelle ersichtlich macht:

Versuchsflüssigkeit	Boden zugesetzt	
	vor dem Kochen	nach dem Kochen
	Erstes Auftreten der Salpetersäure	
Harn 10 %	nach 3 Monaten noch nicht nachweisbar.	am 33. Tage.
" 1 %		" 27. "

Es lagen in diesem Versuche ungünstige Bedingungen für die Nitrification vor (S. 188), die Porosität des Bodens war ausgeschaltet, die Flüssigkeit war nicht capillar im Boden vertheilt, sondern über dem Boden aufgeschichtet; daher auch das späte Erscheinen der Nitrate, trotzdem war das Resultat dasselbe wie oben.

Es sind diese Versuche jedoch nicht frei von jedem Einwande. Durch die mit dem Boden vorgenommenen Veränderungen können auch seine physikalisch-chemischen Eigenschaften verändert worden sein. Durch das Glühen können die Bodenbestandtheile Zersetzungen erfahren, die wasserhaltigen Doppelsilikate, die wenigstens für die Absorption von grosser Bedeutung sind, bleiben hierbei nicht intact. Durch das Kochen des

1) Zeitschrift für Biologie. XIV.

Bodens in Flüssigkeiten, eine chemisch minder eingreifende Procedur, werden wieder jene Lufthüllen, die an den einzelnen Bodenpartikeln mit grösster Zähigkeit haften (S. 76), entfernt, und dadurch ein Factor, der Contact der Flüssigkeit mit Luft auf grosser Oberfläche, beseitigt, der, wie wir aus den Versuchen S. 189 gesehen haben, von grosser Bedeutung ist.

Endlich sind auch die Folgen der Abhaltung des Luftstaubes vielleicht nicht ganz auf seine organisirte Natur, sondern auch auf seine physikalischen Eigenschaften zu schieben. Wir wissen, dass der Staub mit Rücksicht auf die Condensation von Flüssigkeiten eine grosse Rolle spielt, insofern er die Bildung von Nebelbläschen bedingt (Aitkin)[1], dass er ferner zu der Entbindung von in Flüssigkeiten gelösten Gasen aus diesen ersteren einen wesentlichen Impuls gibt[2], dass er bei der Krystallisation mitwirkt, und dass er, wie es scheint, auch bei der Blutgerinnung betheiligt ist[3], so dürfen wir denn die eine physikalisch-chemische Rolle, die er etwa bei diesem, mit Contactwirkungen einhergehenden Processe spielen dürfte, nicht völlig ausser Acht lassen.

Allein für die organisirte Natur des Nitrificationsprocesses sprechen noch andere Motive.

2. Nach Versuchen von Müntz[4] sollen Chloroformdämpfe eigenartig auf organisirte Fermente wirken. Die Thätigkeit derselben wird durch Chloroformdämpfe vollkommen aufgehoben, die der nicht organisirten, ungeformten Fermente dagegen nicht gehemmt.

Schlösing und Müntz[5] liessen durch eine lange, weite, mit Quarzsand und etwas Kalk gefüllte Röhre Abfallwässer langsam hindurchfliessen, nach einiger Zeit etablirte sich eine starke Salpetersäurebildung; nun wurde der Boden mit Chloroform geschwängert, alsbald hörte die Salpeterbildung auf und stellte sich auch 4 Wochen nachher, nachdem alles Chloroform beseitigt war, nicht wieder ein, sondern erst nachdem wieder etwas frische Gartenerde auf den Sand gestreut worden war.

Dieser Versuch wurde von Warington[6] mit demselben Erfolge wiederholt, ja auch noch dahin erweitert, dass er zeigte, dass Schwefelkohlenstoff dieselbe Wirkung habe, ebenso auch alle fäulnisshemmenden Mittel, welche auf organisirte Fermente vernichtend wirken.

Diese Aufhebung der Oxydation organischer Substanzen im Boden mit Hilfe von antimycotischen Stoffen hat sodann Wollny[7] auch für die Kohlensäureproduction, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, nachgewiesen. Aus einem künstlich aus Composterde hergestellten Boden, bei welchem die Kohlensäureproduction zwischen 26,7—41,9 Volumpromille schwankte (durchschnittlich 38,1 Volumpromille) wurde dieselbe durch Einleiten von Chloroform auf 24,8—11,3 (durchschnittlich 16,8) herab-

1) Nature.

2) Knop, Chem. Centralblatt. 1883.

3) Freund, Wiener medicin. Jahrbücher. 1886.

4) Comptes rendus. LXXX.

5) Ibidem. LXXXIV.

6) Chem. News. XXXVI.

7) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. XXV.

gemindert. Zu einer vollständigen Aufhebung der Kohlensäureproduction kam es jedoch nicht.

3. Auch der bei der Nitrification wie bei der Kohlensäurebildung constatirte Einfluss der Temperatur, der auch nur innerhalb einer gewissen, geringen Schwankung begünstigend für beide Processe wirkt (S. 190), wird als ein indirecter Beleg für die organisirte Natur des Erregers dieser Vorgänge angesprochen.

4. Schlösing und Müntz [1]) haben endlich auch versucht, dasjenige Postulat zu erfüllen, das hier, wo es sich um aërobe, saprophytische Pilze handelt, als ein unerlässliches angesehen werden muss; sie haben den betreffenden Organismus isolirt darzustellen versucht.

Sterilisirte Nährlösungen (Abfallwässer oder künstliche alkalische Nährlösungen) wurden mit etwas Erde inficirt und unter Lufteinfluss bei geeigneter Temperatur gehalten; es begann nach einiger Zeit die Nitrification und man erblickte dann in der Flüssigkeit neben einigen Infusorien zahlreiche, längliche Gebilde, welche eine grosse Aehnlichkeit mit den von Pasteur beschriebenen Corpuscules brillants (Sporen) hatten. Indem Schlösing und Müntz dann solche in der Nitrification begriffene Flüssigkeiten zur Aussaat in andere Nährlösungen benutzten, erhielten sie Flüssigkeiten, in denen sich Nitrate bildeten, ohne dass andere als die genannten Organismen darin erblickt werden konnten, und es scheint ihnen zweifellos, dass in diesem Organismus das Salpeterferment zu erblicken ist.

Dieses entwickelt sich in verschiedenen Medien in gleicher Weise, doch wird es in solchen, die reich an organischen Stoffen sind, ein wenig grösser, bleibt aber stets sehr klein. Es vermehrt sich langsam, weshalb die Nitrification selbst anfangs langsam, später schneller verläuft. Es scheint sich durch Sprossung fortzupflanzen und ist nicht sehr widerstandsfähig. Eine Temperatur von 100° und selbst 90° genügt, um es nach 10 Minuten zu tödten; Eintrocknen, selbst bei gewöhnlicher Temperatur, ist ihm schädlich. Erde, welche in sehr lebhafter Nitrification begriffen ist, kann durch Austrocknen vollständig steril gemacht werden (das würde auf die Abwesenheit von Dauerformen schliessen lassen).

Die jetzige Methode der Reinculturen stellt an die Reindarstellung und Charakterisirung eines Pilzes strengere Anforderungen, denen die hier angeführten, zum Theil widerspruchsvollen Angaben nicht genügen, und insofern können wir nicht zugeben, dass die Natur des Salpeterfermentes bereits genau erkannt ist, macht ja auch Duclaux [2]) die Bemerkung: „der Organismus, dem Schlösing und Müntz die nitrificirende Eigenschaft zuschreiben, ist so klein, dass dieselben ihn noch nicht isolirt zu haben scheinen; es wäre schwer zu entscheiden, ob es sich um eine oder um mehrere Species mit denselben Eigenschaften handelt". Immerhin werden wir jedoch den organisirten Charakter desselben streng im Auge behalten und die hohe Bedeutung der Thatsache zu würdigen verstehen, dass die Selbstreini-

1) Comptes rendus. LXXXIX.

2) Encyclopaedie chimique. IX. Chimie biologique. 1. section Microbiologie.

gung des Bodens wahrscheinlich in der Lebensthätigkeit niederer Organismen gelegen ist.

Auf analogem, die Zweifel nicht völlig ausschliessendem Wege haben Dehérain und Maquenne[1]) und gleichzeitig Gayon und Dupetit[2]) im Boden ein anaërobes reducirendes Ferment gefunden, kleine bewegliche Stäbchen, welche in Hühnerbrühe mit 60 Grm. salpetersaurem Kali im Liter mit Beschränkung oder Abschliessung der Luft ausgesäet bei 35° Trübung und Umwandlung aller Nitrate in Nitrite bewirken.

Dehérain und Maquenne erzeugten Gährung im Boden durch Zusatz von Zucker und salpetersaurem Kali, sie glauben die Buttersäuregährung erzielt zu haben, ohne jedoch den Nachweis der spec. Organismen zu liefern. Wenn man das Gas aufsammelt, welches sich aus einer Probe Ackererde entwickelt, die vor Luftzutritt vollkommen bewahrt ist, so findet man, dass es sich aus Kohlensäure, Stickoxydul, Stickstoff und Wasserdampf zusammensetzt. Die in der Erde vorhanden gewesenen Nitrate wurden also zerstört, reducirt.

Nach denselben Methoden, die Schlösing und Müntz angewendet haben, wurde der Nachweis der organisirten Natur dieser Gährungserreger zu liefern gesucht. Die reducirende Fähigkeit der Erde geht verloren durch Erhitzen derselben, durch die Anwendung von Chloroformdämpfen, von Kupfersulfat, nicht aber durch die Wirkung der Carbolsäure und Salicylsäure, selbst bei Anwendung stärkerer Dosen als sie sonst zu antiseptischen Zwecken verwendet werden, ja diese Säuren verschwinden sogar allmählich. Andererseits aber wird die reducirende Fähigkeit wieder hergestellt durch Vermischung mit normaler Erde. Dehérain und Maquenne stellen den Bacillus amylobacter oder Bacillus van Tieghem, das Clostridium butyricum oder Bacillus butyricus, Ferment butyrique (Pasteur) als die für diese Processe maassgebenden Organismen hin.

Endlich macht auch Hoppe-Seyler[3]) auf einen organischen Auflösungsvorgang aufmerksam, der sich in ausserordentlich grosser Verbreitung vollzieht und langsam, aber im grossartigsten Maassstabe, Metamorphosen und Neubildungen von Gesteinsschichten und Erzgängen vollzieht, der in Folge der Umstände, dass er bei niederen Temperaturen sistirt, bei Erhöhung derselben wieder beginnt, dass dessen dauernde Beseitigung durch Erhitzen über 60°, sowie durch Zusatz von antiseptischen Substanzen hervorgerufen werden kann, zu den Gährungsvorgängen zu zählen ist und welcher in einer Zersetzung organischer Stoffe, in einem mit Wasser durchtränkten Boden bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff unter Bildung von Methan und Kohlensäure besteht.

Diese Thatsachen im Verein mit den für die Nitrification gefundenen bieten einen höchst interessanten Einblick in den Kreislauf des Stoffes, der sich im Boden abspielt, und in die Rolle, welche

---

1) Comptes rendus. XCV. 2) Ibidem.

3) Zeitschrift für physiologische Chemie. X.

den niederen Organismen hierbei zufällt; scheint doch auf diese Weise die Gefahr eines Stillstandes in der chemischen Umwandlung im Boden ausgeschlossen, insofern, als in dem Momente, wo die aëroben Pilze durch ungünstige Umstände in ihrer Lebensthätigkeit behindert sind, auch sofort die Anaëroben in Thätigkeit treten können.

Neben diesen saprophytischen Mikroorganismen sind aber im Boden auch Organismen nachgewiesen worden, welche pathogene Wirkungen auszuüben vermögen. Wir müssen aber diese Befunde nach zwei Richtungen hin auseinander halten. In dem einen Falle kann es sich um Organismen handeln, die ziemlich constant als Beimengungen des Bodens aufzufassen sind, die vielleicht auch berufen sind, im Stoff- und Kraftwechsel der Natur eine gewisse Rolle zu spielen, die aber, eingeführt in den menschlichen oder thierischen Organismus, Gesundheitsstörungen leichterer oder schwererer Natur oder selbst typische Krankheitsbilder hervorrufen können.

In dem anderen Falle dagegen kann es sich um Organismen handeln, die wir für gewöhnlich nicht als Bewohner des Bodens nachweisen können, die kraft ihrer pathogenen Eigenschaften auf den thierischen Organismus angewiesen scheinen, sich aber zu gewissen Zeiten und an gewissen Orten im Boden vorfinden.

Es sei zugestanden, dass diese Unterscheidung vielleicht eine künstliche und den biologischen Eigenschaften der Organismen nicht völlig entsprechende ist. Es ist nicht unmöglich, dass manche unserer pathogenen Organismen im Boden einfach die Rolle von saprophytischen übernehmen, ist ja umgekehrt doch von manchen pathogenen Organismen nachgewiesen, dass sie unter Umständen Gährungen oder Oxydations- und Reductionsprocesse hervorrufen können. Im Allgemeinen sind jedoch die Ernährungsbedingungen der pathogenen Organismen doch etwas difficilerer Natur, ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber den Saprophyten eine viel geringere, so dass sie wohl leicht zu Grunde gehen.

Von den pathogenen Pilzen, die sich nun im bewohnten Boden derart leicht und häufig nachweisen lassen, dass eine gewisse Constanz ihres Vorkommens angenommen werden muss, ist zunächst der Vibrion septique (Pasteur) resp. der Bacillus des malignen Oedems (Koch) zu nennen.

Von der Absicht ausgehend, den Milzbrandkeim in der Ackererde in der Nachbarschaft der Stellen, wo Milzbrandcadaver verscharrt waren, nachzuweisen, pulverisirte Pasteur[1]) die verdächtige

1) Bulletin de l'Académie. Séance du 1. Fevrier 1881.

Erde, um die feineren Theile abzuscheiden. Das Wasser, mit dem die letzteren abgeschlemmt wurden, wurde sodann ruhig sich selbst überlassen und der sich bildende Bodensatz einige Minuten auf 90° erhitzt und dann in kleinen Portionen injicirt. In diesen Fällen starb das geimpfte Thier häufig unter Symptomen, die an einen Fäulnissprocess erinnern und die durch die Injection mit einem Pilz, einem „Vibrion septique", hervorgerufen sind.

Koch[1]) und später Gaffky[2]) haben die Krankheit auf dieselbe Weise, durch Einimpfung einer geringen Menge Gartenerde, hervorgerufen, und Koch sie als „malignes Oedem" genau charakterisirt. Diese Bacillen resp. ihre Sporen sind zufolge seiner Untersuchungen anscheinend weit verbreitet und finden sich vorzugsweise nebst anderen Bacillenarten in den oberen Culturschichten des Erdbodens. Es sei hierbei darauf aufmerksam gemacht, dass sich nach einiger Zeit diese Organismen nur als resistente Dauerformen vorfinden.

Ein anderer pathogener Organismus wurde von Nicolaier[3]) im Boden nachgewiesen. Bei Impfung mit manchen Erdproben gelang es ihm, bei Mäusen, Kaninchen und Meerschweinchen einen, fast stets tödtlich verlaufenden Symptomencomplex hervorzurufen, der als Tetanus anzusprechen ist, und durch feine, schlanke, ausserhalb der thierischen Körper cultivirbare Bacillen hervorgerufen wird, die nun von Rosenbach[4]) auch beim menschlichen Tetanus als anwesend und überimpfbar constatirt wurden. Diese Bacillen, die von Nicolaier in Göttinger Erde, von Socin[5]) in Basler Gartenerde constatirt wurden, sind nach Nicolaier in den oberen Schichten des städtischen und Culturbodens ausserordentlich verbreitet. Von 18 untersuchten Erdproben ergaben 6 ein stets negatives Resultat; diese waren theils Waldboden, theils dem wenig verunreinigten Hofraum des hygienischen Instituts entnommen. Die infectiöse Erde stammt theils aus Gärten, Höfen, von der Strasse, von Aeckern, von einem Rieselfelde. Auch die an Kartoffeln und anderen Feldfrüchten anhaftende Ackererde wurde in dieser Weise infectiös befunden. Alte, seit Jahren aufbewahrte Proben von Berliner und Leipziger Strassenboden, ferner Erde aus Wiesbaden lieferten ebenfalls charakteristische Tetanusfälle.

(In denselben Erden fanden sich auch hier und da Sporen der Bacillen des malignen Oedems.)

---

1) Mittheilungen des k. d. Gesundheitsamtes. I. 2) Ibidem.

3) Ueber infectiösen Tetanus. Deutsche medicin. Wochenschrift. 1884.

4) Bericht über den XV. deutschen Chirurgen-Congress. Centralblatt für Chirurgie. 1886. 5) Ibidem.

Es lässt sich aus den vorhandenen Untersuchungen nicht vollständig der Beweis liefern, dass diese beiden pathogenen Organismen ursprünglich dem Boden nicht eigenthümlich sind, sondern erst als Verunreinigungen in denselben gelangen, mag das Vehikel ein festes (Staub), ein flüssiges oder gasförmiges sein; wahrscheinlich wird jedoch diese Annahme, wenn wir erwägen, dass die Bacillen des malignen Oedems in faulenden Flüssigkeiten, im Staub der Luft sehr verbreitet sind, dass die Tetanusbacillen sich im wenig verunreinigten und im Waldboden nicht gefunden haben. Aus dem Umstande, dass sich die Bacillen im Boden meist in der Form von Sporen finden, glaubt Koch [1]) schliessen zu können, dass dieselben mit wirthschaftlichen Abfällen, Düngstoffen und Producten der Fäulniss und Zersetzung in die Erde gelangen; da die beiden hier erörterten Bodenbacillen Sporenbildner sind und sich wohl auch als solche hauptsächlich im Boden finden werden, würde diese Annahme auch für sie ihre Geltung besitzen; wir werden jedoch sehen (S. 226), dass für das Ueberwiegen der Sporen im Boden noch ein anderer Gesichtspunkt maassgebend ist.

Ausser für diese im Boden ziemlich constant aufzufindenden, wenn auch wahrscheinlich anderen Medien entstammenden pathogenen Organismen sind es derzeit nur noch wenige, deren Nachweis im natürlichen Boden gelungen ist.

Für den Bacillus anthracis, Milzbrandbacillus, ist zuvörderst nachgewiesen, dass er, untermischt mit Boden, besonders in Sporenform, auch wirklich im Boden längere Zeit verweilen und wieder nachgewiesen werden kann.

Pasteur [2]) hat zu Milzbrandblut Erde hinzugefügt, die mit Hefewasser oder Urin benetzt und Temperaturen ausgesetzt war, wie sie zur Sommerszeit oder in einem Düngerhaufen herrschen. In weniger als 24 Stunden fand er Vermehrung und Sporenbildung. Zu ähnlichen Resultaten kam Schrakamp [3]). Durch folgenden Versuch bewies dann Pasteur, dass ein derartiger Vorgang sich auch in der Natur etablire: Ein an Milzbrand verstorbener Hammel wurde auf einer Meierei (im August) verscharrt, 10 und 14 Monate später wurde Erde aus dieser Grube gesammelt, und in derselben durch Impfung die Milzbrandsporen nachgewiesen; dies geschah auch an der Ober-

---

1) Mittheilungen des k. Gesundheitsamtes. I. S. 35.

2) Die auf den Milzbrand bezüglichen Arbeiten Pasteur's finden sich gesammelt in: Le Charbon et la Vaccination charbonneuse d'après les travaux récents de M. Pasteur. Par Ch. Chamberland. Paris 1883.

3) Archiv f. Hygiene. II.

fläche, obzwar die Erde nicht etwa umgewühlt worden war. Von ähnlichem Resultate waren Versuche begleitet, die im Jura angestellt wurden, wo (in den Monaten Juni, Juli und September) drei Milzbrand-Kühe in der Tiefe von 2 Metern verscharrt worden waren, und wo aus Auszügen der oberflächlichsten Erdschicht mit Leichtigkeit Milzbrand geimpft werden konnte, während die von den Gruben entfernten Erdschichten keinen Milzbrand ergaben. Der Beweis, dass dieser Boden über den Gruben und kein anderer wirklich Milzbrand liefere, wurde auch noch dadurch erbracht, dass diese betreffenden Stellen mit einer Einzäunung versehen und vier Hammel in dieselbe gebracht wurden; es wurde an sie Futter, das mit Erde von der Oberfläche der Gruben vermischt war, verfüttert; drei Thiere gingen an Milzbrand zu Grunde, von den Controlthieren keines, und hierbei ereignete sich ein Todesfall bereits am ersten Tage nach der Fütterung, von dem in Folge dessen Pasteur annimmt, dass die Infection noch vor dieser Fütterung spontan durch Pflanzen aus diesem Boden erfolgt war. Die Thatsache, dass Milzbrand durch sehr lange Zeit, selbst durch viele Jahre hindurch, im Boden sich conservirt, erhärtet Pasteur durch eine Reihe von Versuchen, wo an einem Orte (auf dem Gute Rozières bei Senlis) 12 Jahre nachdem daselbst Cadaver vergraben waren, von neun Hammeln, die auf diese Stelle durch mehrere Tage getrieben wurden, zwei an Milzbrand starben.

Analoge Versuche mit einem Boden, in welchem vor 12 und vor 3 Jahren Milzbrandcadaver eingegraben worden waren, wurden sodann vor einer zur Prüfung dieser Frage eingesetzten Commission wiederholt.

Bei diesen Versuchen wurde das Waschwasser des Bodens, in welchem sich die Milzbrandsporen, aber auch andere Pilze fanden, zunächst durch 20 Minuten auf 90° erhitzt, um die vegetativen Formen der vorhandenen Organismen zu tödten; sodann wurden Einspritzungen an Thieren gemacht, die theils Septicämie, theils auch echten Milzbrand erzeugten.

Pasteur wendet sodann folgendes Verfahren an, um die Milzbrandpilze im Boden zu isoliren und sie speciell von den Septicämiebacillen (Bacillen des malignen Oedems, Koch) zu trennen.

Er erhitzt den feinen Bodensatz, den er bei der Decantation erhält, auf 90°, dadurch werden die vegetativen Formen der Organismen getödtet und es bleiben die Milzbrandsporen, aber auch die Septicämiesporen; sodann säet er diese Massen in Glasröhren aus, die mit sterilisirtem Kies gefüllt sind, und bringt das Ganze auf eine Temperatur von 30—35°. Die aëroben Milzbrandorganismen vermehren sich nun rasch unter den günstigen Verhältnissen des gesteigerten Luftzutritts, während die anaëroben Septicämieorganismen es zu keiner Entwickelung bringen.

Hierher ist noch eine Beobachtung von Crookshank [1]) zu zählen, welcher bei subcutanen Injectionen von Erde bei Mäusen in einem Falle eine Milzbrandinfection erzielte, wo dann die angestellten Nachforschungen ergaben, dass die betreffende Erde einem Winkel entnommen war, welcher vor 9 Jahren als Begräbnissplatz für die an Milzbrand gefallenen Thiere gedient hatte. Jedenfalls waren in allen diesen Fällen langer Conservirungsdauer die Milzbrandorganismen in der Form von Sporen vorhanden.

Den Bacillus malariae haben Klebs und Tommasi-Crudeli [2]) und Ceci [3]) aus Malariaboden gewonnen. Die Charakterisirung desselben ist noch ohne Anwendung jener methodischen Hilfsmittel erfolgt, die uns jetzt zur Reincultur und zur Bestimmung eines Pilzes führen, und die seiner Zeit aufgestellten Beziehungen zur Malaria sind seither nicht blos nicht bestätigt, sondern nur noch zweifelhafter geworden.

Der Nachweis der Pneumoniekokken im Fehlboden von Emmerich sei hier nur kurz berührt, da es sich hierbei nicht um natürlichen Boden handelt.

Typhusbacillen will endlich Dr. Tryde [4]) im verunreinigten Boden der Marinekaserne in Kopenhagen bei einer Typhusepidemie gefunden und durch Plattenculturen identificirt haben.

Es darf diese geringe Anzahl positiver Befunde uns keineswegs auf die thatsächliche Abwesenheit der pathogenen Organismen im Boden schliessen lassen, wir haben vielmehr nur die Thatsache darin zu erkennen, dass die Methoden, Organismen in Gemischen zu differenziren und gar zu isoliren und rein darzustellen, noch zu kurze Zeit im Gebrauch und noch nicht nach allen Richtungen hin ausgebeutet worden sind; ja gerade die Milzbrandfunde machen es wahrscheinlich, dass wir in Zukunft bei noch genauerer Kenntniss der Entwickelung und Lebensthätigkeit der niederen Organismen im Boden eine reichlichere Ausbeute finden werden. Sind ja diese relativ so zahlreichen Milzbrandfunde eben hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass der Nachweis derselben durch Cultur und Injection ein so relativ leichter ist (vergl. auch die Untersuchungen Beumer's).

Die Frage nach der biologischen Form, in welcher sich die Bacillen im Boden vorfinden, wurde schon bei Gelegenheit der einzelnen Befunde berührt. Wir haben bei einem durch Organismen

---

1) Lancet 1885.
2) Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. XI.
3) Ibidem. XV. XVI.
4) La Semaine médicale. 1885. p. 155.

verunreinigten Boden jedenfalls zweierlei Stadien auseinander zu halten; jenes Stadium, das sich unmittelbar oder kurz nach der Verunreinigung darbietet, und wo wir alle möglichen Formen, auch die wenig widerstandsfähigen vegetativen Formen, vorfinden können. Untersuchen wir jedoch längere Zeit nach der Verunreinigung, so werden diese theils zu Grunde gegangen, theils verdrängt sein, und es bleiben nur die Dauerformen zurück. KOCH findet (vergl. oben S. 202), dass nach Austrocknen des Bodens die Mikrokokken aus dem Boden verschwinden und dass auch nur wenig oder keine Bacillen, sondern Sporen, Dauerformen zurückbleiben.

II. Das Eindringen der Organismen in den Boden.

Auf S. 201 wurde schon ausgesprochen, dass es wahrscheinlich ist, dass ein grosser Theil der im Boden befindlichen Organismen erst demselben von oben her zugeführt wird. Als Vermittler können wir wohl feste körperliche Theile, die Luft und die Flüssigkeiten ansehen.

Von den festen körperlichen Theilen, mit denen Organismen auf und in den Boden gelangen, sind es besonders die Leichen, die unsere hygienische Aufmerksamkeit beanspruchen. Es ist diesem Gegenstande in diesem Handbuch eine besondere Abtheilung gewidmet.

Ein wesentliches Transportmittel für die Organismen ist dann jedenfalls die Luft, die in dem Staube, den sie allenthalben ablagert, die Pilze mit sich führt, und es ist kein Zweifel, dass, soweit es sich um eine Uebertragung auf die oberflächlichen Bodenschichten und auf diese Weise auch um eine gewisse diffuse Verbreitung und Vermischung handelt, die Luft eine sehr wesentliche Rolle spielt; sehr gering dürfte jedoch der Antheil ausfallen, der ihr bei einem etwaigen Transport in die Tiefe zukommt. Die später anzuführenden Versuche, die sich mit dem Transport von Pilzen durch im Boden herrschende oder künstlich erzeugte Luftströmungen beschäftigen, haben ergeben, dass trockener und noch mehr feuchter Boden filtrirend auf pilzhaltige Luft wirken. Und die Versuche von R. PUMPELLY[1]), die sich direct mit der Frage beschäftigen, ob durch eine Bodensäule bei unbewegter Luft Mikroorganismen hindurchtreten, haben ergeben, dass schon Bodensäulen von sehr geringer Höhe (wenige Millimeter) eine Art pilzdichten Abschluss bilden.

Die wesentlichste Aufgabe beim Eindringen der Mikroorganismen in den Boden wird jedoch dem Wasser zufallen, auch schon des-

1) Report of the National board of Health. Washington 1881.

halb, weil mit Hilfe dieses Mediums die meisten Organismen schon auf den Boden gelangen.

Wir wollen uns hier hauptsächlich mit dem Transport in die Tiefe beschäftigen, wenn auch das Wasser die Verbreitung der Fläche nach gleichfalls begünstigt und vermittelt. Bezüglich der rein mechanischen Rolle, die das Wasser beim Transport in die Tiefe spielt, sei auf die Erörterungen über die Bewegung des Wassers nach der Tiefe zu (S. 103 ff.) und das Eindringen der Verunreinigungen in den Boden (S. 174 ff.) Gesagte verwiesen. Indessen untersteht der Transport der Pilze in die Tiefe doch noch anderen Bedingungen, die eben in dem Wesen der Organismen gelegen sind.

Die Organismen sind ja nur im Wasser als körperliche Theile suspendirt, sie sind ferner lebende Wesen. Beide diese Umstände wirken mehr oder weniger hemmend auf die Abwärtsbewegung ein.

Betrachten wir zunächst die aus dem Belebtsein der Organismen hervorgehenden Consequenzen, so könnten dieselben insofern einer Abwärtsbewegung, einem tieferen Eindringen günstig sein, als durch das Wachsthum die Vermehrung, die ja auch in der Tiefe vor sich gehen kann, ein Vorwärtsschreiten, ein Eindringen in den Boden möglich ist. Es sei dies für einzelne Organismen auch nicht geleugnet, im Allgemeinen wird jedoch der Effect dieses Wachsthums, der sich ja in der Flächenausbreitung bei der so ausserordentlichen Kleinheit der Organismen nur sehr allmählich zeigen wird, von dem Effecte der Wasserbewegung, wenn derselbe (S. 178) auch ein sehr geringer ist, weit überholt werden.

Dann aber darf wohl geltend gemacht werden, dass die meisten oder wenigstens viele der pathogenen Organismen im Boden, besonders in etwas tieferen Schichten, so ungünstige Lebensbedingungen finden werden, soweit es sich um Temperatur, Nährsubstrat, Luft oder Luftabschluss, Concurrenz handelt, dass an eine wesentliche Vermehrung schwer gedacht werden kann.

Umgekehrt werden gerade diese Umstände bewirken, dass von den mit der Flüssigkeit in den Boden geschwemmten Organismen nur relativ wenige oder wenigstens nur bestimmte biologische Formen in die Tiefe gelangen werden.

Die vegetativen Formen, als welche sich die Organismen, freilich nicht ausschliesslich, in den den Boden verunreinigenden Flüssigkeiten befinden, sind nur wenig widerstandsfähig, sie werden eine grössere Tiefe um so weniger leicht erreichen, als schon die Bewegung der Flüssigkeit allein nach abwärts meist eine sehr langsame ist; nur dort, wo in den Flüssigkeiten Dauerformen sich finden oder

sich an der Bodenoberfläche gebildet haben und diese Dauerformen innerhalb des Bodens nicht wieder zu vegetativen Formen auswachsen, kann ein Eindringen der Organismen in grössere Tiefen angenommen werden.

Diesem wirkt aber wieder die körperliche Natur der Organismen entgegen, denen gegenüber der Boden doch, und zwar sowohl der trockene als auch der feuchte resp. nasse, einigermaassen als Filter wirkt.

Dass Organismen durch Filter, und zwar durch die dem Boden analogen resp. aus Bodenmaterialien construirten Filter, deren Hohlräume grösser sind als die Dimensionen der einzelnen Organismen — natürlich nicht vollständig — zurückgehalten werden, geht schon aus den neuen, vergleichenden bacteriologischen Wasseruntersuchungen hervor. Einmal sind die Organismen ja durchaus nicht immer ganz isolirt als Einzelzellen im Wasser suspendirt, sie sind zu Fäden, Haufen, Zooglöen u. s. w. vereinigt, also zu grösseren, bereits filtrirbaren Conglomeraten, sodann aber können auch die einzelnen isolirten Zellen sich mitunter an diejenigen Wände des Hohlraums, an die sie gerade anstossen, anlagern, durch Adhäsion festgehalten werden, analog, wie das Hoffmann-Pasteur'sche Verfahren des Umbiegens oder der zickzackförmigen Krümmung des ausgezogenen Kolbenrohrs die Infection von offen stehenden, sterilisirten Nährlösungen verhindert. So kann also der Boden bei der Abwärtsbewegung organismenhaltiger Flüssigkeit eine gewisse filtrirende Wirkung ausüben und die Menge der in die Tiefe gelangenden Organismen vermindern, vielleicht eine kurze Zeit gar ganz aufheben. Pasteur und Joubert führen die relative oder absolute Keimfreiheit der Quellen auf diese Ursache zurück, und wenn auch die zuerst von Falk [1]) experimentell behauptete Fähigkeit des (Berliner) Sandbodens, milzbrandhaltiges Blut von seinen Organismen zu befreien, nicht mit Sicherheit auf eine Filtration, sondern, zum Theil wenigstens, auf ein Untergehen, ein Verdrängtwerden der vegetativen Formen zurückgeführt werden muss (Falk filtrirte Milzbrandblut, das wahrscheinlich sporenfrei war), so ist doch durch seine Versuche nachgewiesen, dass in der That ein künstlicher, in Röhren eingefüllter Boden die Organismen auf ihrem Wege in die Tiefe aufhalten kann. Falk nahm Rieselflüssigkeiten in allen ihren Stadien, vom ersten Tage des Abschöpfens bis zu extremen Fäulnissstadien, mit welchen er gelegentlich auch septische Blutvergiftung an Mäusen erzeugen konnte,

1) Eulenberg, Vierteljahrschrift für gerichtliche Medicin. N. F. XXVII.

und filtrirte dieselbe durch Sandsäulen von ca. 60 Cm. Höhe. Die abtropfende Flüssigkeit war bernsteingelb, reagirte schwach alkalisch, war für die Sinne vollkommen indifferent und liess keine septische Infection mehr zu. Ein faulendes Fleischinfus, in welchem sich zahlreiche grosse Stäbchen und spirillenartige Fäulnissorganismen herum tummelten, zeigte nach derselben Filtration viel weniger Formelemente und an Stelle jener waren ausschliesslich kleine kugelige Bacterien getreten. Allerdings konnte Falk auch nachweisen, dass mitunter im Boden die Zahl der eingeführten Pilze, die Intensität des Fäulnissprocesses sich steigere.

R. Pumpelly fand gleichfalls eine Verminderung der Organismen bei Filtration durch Sand- und Kohlenschichten von relativ sehr geringer Höhe, es ging herab bis zu 0,2 Cm., und Frankland [1]) hat bei Filtration durch Sandschichten von 16 Cm. Höhe eine sehr bedeutende Abnahme und selbst vollständiges Verschwinden der aufgegossenen Pilze beobachtet.

Auf diese Weise muss also in der That der Pilzgehalt gegen die Tiefe zu allmählich abnehmen, und die von Koch und Beumer constatirte Abnahme der Mikroorganismen nach der Tiefe zu findet in diesen Vorgängen eine zweifache Begründung.

Ebenso beweiskräftig sind die Berieselungsversuche, die direct als ein im Grossen angestelltes Experiment über die gegenüber niederen Organismen zur Anwendung kommende filtrirende Eigenschaft des Bodens anzusehen sind.

Als Beispiele können die Untersuchungen der Berliner [2]) und Pariser [3]) Rieselwässer angeführt werden.

Bezeichnung des Wassers nach der Entnahmestelle	Aus 1 Cbcm. entstehen Colonien	
	insgesammt	verflüssigend
Spüljauche aus dem Druckrohr in Falkenberg . . .	38 000 000	989 000
Mitte des nördlichen Sielgrabens	87 000	13 800
Südlicher Sielgraben 20 Schritte oberhalb der Mündung	409 000	6 500

In dem Rieselterrain von Gennevillier wirkt die Bodenfiltration so mächtig, dass sich in dem Drainwasser von Asnières nur 12 Keime im Gramm vorfanden, während z. B. das Wasser der Seine zu Asnières,

1) The removal of microorganisms from water. Proceedings of the Royal Society. 1885.

2) Die Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für öffentl. Gesundheitspflege zu Berlin über Canalisation und Berieselung. 1883.

3) Miquel, Annuaires de l'observatoire de Montsouris. 1883.

wo dieselbe alle Kanäle der Hauptstadt aufgenommen hat, 3200 Keime im Gramm enthält.

Ist also auf diese Weise das Eindringen von Organismen in die Tiefe als Folge des Hindurchsickerns ausserordentlich erschwert, so sind dann jene Fälle um so sorgsamer zu prüfen, wo die Quelle der Infiltration bereits in der Tiefe sich befindet, in Gestalt schlechter durchlässiger Kanale, durchlässiger Senkgruben, offener Communicationen mit Entwickelungsherden von Organismen. Es fehlen nach dieser Richtung hin Untersuchungen über den Pilzgehalt des Bodens in notorisch sehr verunreinigten Stätten, doch liefern die S. 202 angeführten Versuche Beumer's den Nachweis, dass der Pilzreichthum bis zu 6 Meter ein ausserordentlich hoher sein kann.

Es ist diese Verunreinigung des Bodens durch niedere Organismen, die auf dem Wassertransporte erfolgt, mit Rücksicht auf gewisse physikalische Verhältnisse des Bodens und die biologischen Eigenschaften der Pilze ganz besonders zu beachten. Die Concurrenz der Pilze unter einander, in Folge deren in Flüssigkeiten, die Pilzgemische enthalten, allmählich nur ein Pilz zur ausschliesslichen Vermehrung und Herrschaft gelangt, kann im Boden in einer gewissen Weise modificirt resp. aufgehoben werden, je nach der physikalischen Beschaffenheit desselben. Sickert z. B. eine mit Pilzen beladene Flüssigkeit in einen sehr feinkörnigen Boden, so wird sich die Flüssigkeit bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgrade in Form äusserst dünner, durch Adhäsionskraft festgehaltener Lamellen auf den Körnchen niederschlagen und so lange nicht ein neuer Flüssigkeitsstrom hinzutritt, in einem gewissen Sinne immobilisirt werden, dadurch ist die Möglichkeit gegeben, dass sich abgeschlossene resp. immobilisirte Flüssigkeitsschichten finden, in welchen sich der eine oder andere pathogene Pilz, der schon ursprünglich in der Ueberzahl vorhanden war, unvermischt, also in einer Art Reincultur, vorfindet und sich auch für eine gewisse Zeit als solche erhalten kann, besonders wenn er etwa in seiner Dauerform fixirt worden ist. Es liegt dann für die Vertheilung der Pilze in der Bodenflüssigkeit die Analogie vor mit jener Vertheilung und Fixirung, wie sie bei dem Einbringen in ein erstarrendes Nährmedium (Gelatineplatten u. s. w.) künstlich vorgenommen wird.

III. Austritt der Organismen aus dem Boden.

Die etwaigen pathogenen Organismen im Boden müssen, sollen sie wirklich zu Erkrankungen führen, auch Gelegenheit haben, in Beziehung zum Menschen zu treten.

Wenn die Spaltpilze an der Oberfläche des Bodens sich befinden, so ist die Gelegenheit hierzu meistentheils gegeben, die Pilze können im eingetrockneten Zustande mit den von der Bodenoberfläche mechanisch hinweggeführten Partikelchen in die Luft verbreitet werden und durch diese wieder an feste Körper, in Flüssigkeiten abgelagert werden, sie können so unsere Athmungsluft, unsere Nahrungsmittel, unser Wasser u. s. w. verunreinigen, sie können dann, wenn sie in einer Flüssigkeit suspendirt sind, durch Aufrühren, durch Verspritzen der Flüssigkeit in die Luft gelangen (vergl. Capitel Luft S. 121), sie können aber auch direct durch Verletzungen in die Gewebe von Menschen und besonders von Thieren eindringen.

Befinden sich jedoch die Pilze in einer gewissen Tiefe im Boden, so ist eine derartige unmittelbare Communication unmöglich, die Pilze müssen erst eine Strecke transportirt werden. Wir haben hier abermals an zwei Transportmittel zu denken, an die Luft und an das Wasser.

1. Da die Thatsache feststeht, dass sich Luftströmungen im trockenen Boden etabliren, die die nöthige Intensität besitzen, um Pilze zu transportiren (S. 67), so lag es nahe, auch diesen Transport wirklich stattfinden zu lassen; allein die thatsächlichen Beobachtungen widersprechen zumeist dieser Annahme. Auf S. 215 sind bereits einige Beobachtungen angeführt, nach denen Bodensäulen von geringer Höhe den Eintritt von Pilzen in gewisse Bodentiefen verhindern. Es liegt aber auch eine Reihe directer, auf diesen Punkt gerichteter Versuche vor, die zu dem Resultate führen, dass ein trockener Boden ein wirksames Filter ist, um Luft von Spaltpilzen zu befreien und diese also an einem eventuellen Austritt aus dem Boden zu hindern. Schon Nägeli [1]) machte auf die pilzfiltrirende Wirkung des Bodens aufmerksam, und Miquel [2]) und Pumpelly (l. c.) gelang es Luft pilzfrei zu machen, wenn sie dieselbe durch den Boden hindurch filtrirten, und dies bei Geschwindigkeiten, die die in der Natur vorkommenden Luftströmungen weitaus übertreffen. Dem entsprechend waren auch die Versuche, Pilze aus dem natürlichen Boden zu aspiriren, meist ohne Resultat geblieben. Miquel kommt auf Grund seiner Filtrationsversuche durch lockeren und feuchten, natürlichen und künstlich verunreinigten Boden zu dem Resultate, dass die Luft, die durch den Boden hindurch filtrirt, nicht blos die Organismen, die sich immer daselbst in ausserordentlicher Anzahl vorfinden, nicht mit sich führt, sondern sich sogar vollständig darin

1) Nägeli, Die niederen Pilze. München 1877.

2) Miquel, Les organismes vivants dans l'atmosphère. 1883.

reinigt. Künstliche Luftströmungen von unvergleichlich höherer Intensität als die im Boden vorhandenen vermögen nicht die Keime auch nur einige Centimeter hoch zu führen. Im Einklang damit stehen Versuche von EMMERICH[1]), der Luft durch 10—150 Cm. lange, mit feuchtem Boden gefüllte Röhren aspirirte und dadurch von Pilzkeimen vollständig befreite (nur in einem Falle, als die Bodenfeuchtigkeit auf 8 % gesunken war, gelangten Pilze durch den Boden).

Von etwas anderem Gesichtspunkte aus sind jene Versuche aufzufassen, wo aus bestimmten Bodentiefen durch eingesenkte Röhren Luft aspirirt wurde, auch hier wurden meist negative Resultate erzielt, es gelang nicht, Pilze in der Bodenluft nachzuweisen (BUCHNER, EMMERICH, RENK[2])); nur MIFLET[3]) hat aus der Bodenluft des botanischen Gartens und des Hofraumes des pflanzen-physiologischen Institutes Organismen aspiriren können. Es kommt in diesem Falle nicht mehr die Frage des Transports von Organismen durch den Boden zur Entscheidung, sondern die Frage des Vorhandenseins von Organismen in einer bestimmten Bodentiefe. Wenn der Boden an jener Stelle, wo gerade die aspirirenden Rohre ausmünden, Organismen enthält und trocken genug ist, dass sich seine Partikelchen loslösen können, so wird es zum Nachweis von Organismen in der Bodenluft kommen können. Allerdings scheint eine Reihe dieser Versuche (BUCHNER, EMMERICH, RENK[4])) abermals für die Seltenheit des Vorkommens von niederen Organismen in gewissen Bodentiefen zu sprechen, wobei freilich bei der Wahl des Bodens nicht besondere Rücksicht auf eine etwaige Bodenverunreinigung genommen wurde.

Als das Resultat all dieser Beobachtungen und Versuche geht wohl hervor, dass die gewöhnlichen in einem Boden herrschenden Luftströmungen nicht im Stande sein werden, Pilze aus irgend welcher etwas bedeutenderen Tiefe an die Oberfläche zu bringen, die filtrirende Wirkung des Bodens ist im Verhältniss hierzu eine zu mächtige. Eine Ausnahme hiervon dürften jedoch jene Fälle machen, wo plötzliche, durch Austrocknung oder andere Vorgänge bewirkte Continuitätstrennungen, Spaltenbildungen u. dergl. tiefere Bodenschichten blosslegen und in die Möglichkeit einer directen Beziehung zur Oberfläche versetzen (vergl. S. 125).

2. Als ein weiteres Vehikel für Organismen ist das Wasser anzusehen, ja mit Rücksicht auf die Rolle, welche die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit, wie sie sich nach PETTENKOFER im

1) Archiv f. Hygiene. IV.
2) RENK, Archiv f. Hygiene. IV.
3) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. III.
4) Archiv f. Hygiene. IV.

Grundwasserstande ausprägen, in epidemiologischer Beziehung spielen, werden wir die Möglichkeit einer eventuellen Ausbreitung der Krankheitspilze durch directe oder indirecte Mithilfe des Wassers im Boden ganz besonders ins Auge fassen müssen.

Das Wasser könnte auch gewissermaassen im umgekehrten Strome, in seinem Laufe nach abwärts, als Vermittler für den Austritt der Pilze dienen. Einmal indem es auf seiner Wanderung nach abwärts die Organismen allmählich jenen Bodenwässern zuführt, die als Quellen, Grundwasser (Brunnen), Flüsse u. s. w. schliesslich in Communication zu dem Menschen treten. Die auf S. 214 angeführten Untersuchungen zeigen, dass dort, wo das Wasser wirklich durch einen porösen Boden hindurchströmt, und nicht etwa durch gröbere künstliche Lücken und Spalten, sich dasselbe allmählich von seinen Organismen befreit, dadurch, dass diese theils zerstört, theils abfiltrirt werden; und die bacteriologischen Untersuchungen über die Wirksamkeit der künstlichen Wasserfiltration geben hierfür einen Beleg; immerhin werden wir diesen Weg nicht ausschliessen dürfen, besonders wenn es sich um Pilzanhäufungen in etwas grösseren Bodentiefen handelt oder wenn wirklich directere Communicationen zum Grundwasser führen.

Die bacteriologischen Untersuchungen von Brunnenwässern in Städten mit einem stark verunreinigten Untergrund haben die Brunnen vielfach als sehr bacterienreich erscheinen lassen. In einem Grundwasser führenden Pumpbrunnen in München fanden sich 16000 entwickelungsfähige Keime pro Cubikcentimeter, in einem solchen von Rudolstadt gar 50625 [1]), wobei allerdings eine nachträgliche Entwickelung und Vermehrung im Brunnenwasser selbst nicht ausgeschlossen werden darf (manchmal wohl auch eine directe Communication mit einem Bacterienherd). Aufgabe weiterer Forschung wäre, zu zeigen, auf welchem Wege diese Organismen im concreten Falle in das Brunnenwasser gelangen.

Auf eine andere Weise haben Nägeli und Buchner [2]) das an die Oberflächegelangen von niederen Organismen im Boden durch das abfliessende Wasser möglich erscheinen lassen. Sie gehen von jenen Vorgängen aus, die sich beim Sinken einer Wassersäule im Boden etabliren müssen. Wenn man in dem mit Flüssigkeit durchtränkten Boden das Niveau der ersteren erniedrigt, so müssen die in den Zwischenräumen vorhandenen Wasserlamellen platzen. Die Ca-

1) Wolffhügel, Erfahrungen über den Keimgehalt brauchbarer Trink- und Nutzwässer. Arbeiten aus dem k. Gesundheitsamt. I.

2) Centralblatt der medicin. Wissenschaften. 1882.

pillaren sind durch äusserst dünne Wasserlamellen abgeschlossen, die beim Sinken des Wassers schliesslich einreissen müssen. Enthält nun dieses Wasser irgend welche Pilze, so werden dieselben beim Platzen verstäubt und gelangen so in die Luft. Es lässt sich nun in der That ausserordentlich leicht nachweisen, dass ein jedes Verstäuben von pilzhaltigen Flüssigkeiten zur Verbreitung dieser Pilze in die Luft führt. Aber damit werden auf diesem Wege nur selten, nur in ganz gewissen Fällen, Pilze in die Luft gelangen, und zwar dann, wenn sich dieser Vorgang in höchst minimalen Tiefen unter der Oberfläche abspielt, da ja sonst sofort wieder die pilzfiltrirende Kraft des Bodens in Action tritt.

Es soll auch dieser Vorgang nicht etwa als eine Erklärung für die Erscheinungen beim Sinken des Grundwassers dienen. Das Sinken des Grundwassers dort, wo es wirklich der Ausdruck für die Austrocknung des Bodens ist, beruht nicht etwa auf einem Ablaufen in die Tiefe, sondern ist zum grössten Theil eine Folge der Verdunstung; es findet dann eine Abnahme von oben her statt, so dass es dann zu keinem Platzen von Blasen zu kommen braucht.

Wir können auch noch an den Transport durch das aufsteigende Wasser, und zwar durch das capillare, im Boden aufsteigende Wasser denken. Soyka [1]) hat durch Versuche nachgewiesen, dass, wenn man Röhren mit reinem sterilisirten Boden füllt und in pilzhaltige Flüssigkeiten taucht, sich entsprechend dem capillaren Ansteigen des Wassers die betreffenden in den Flüssigkeiten vorhandenen Pilze im Boden nachweisen lassen, ohne dass bei der kurzen Zeit, innerhalb welcher das Ansteigen erfolgt und gleichzeitig der Nachweis der Pilze möglich ist, an ein Durchwachsen durch den Boden hindurch gedacht werden könnte. Innerhalb 48—24 Stunden und noch früher wurden Strecken bis zu 20 Cm. gleichzeitig von der Flüssigkeit und den darin suspendirten Pilzen (Mäusesepticämie, Milzbrand, Kommabacillus der Cholera u. s. w.) zurückgelegt.

Auf Grund dieser experimentell gefundenen Thatsachen gelangt Soyka zu folgenden Schlussfolgerungen: Im feuchten Boden herrschen ununterbrochen capillare Strömungen, die durch Temperaturschwankungen, durch Concentrationsänderungen, durch Zuflüsse u. s. w. bedingt sind. Bei einer lange andauernden Austrocknung, wie sie dem Sinken des Grundwassers vorangeht (vergl. Theil II, Cap. II), muss sich für eine bestimmte Zeit eine ziemlich ununterbrochene capillare Wasserleitung aus tieferen Bodenschichten nach der Boden-

1) Experimentelles zur Theorie der Grundwasserschwankungen. Prager med. Wochenschrift. 1885.

oberfläche etabliren; mit diesem Flüssigkeitsstrome können nun reichlich Pilze an die Oberfläche gelangen, aber nicht etwa bloss Pilze, die sich im Grundwasser befinden, sondern, wo überhaupt in irgend einer Bodenschichte, die von dem aufsteigenden Capillarstrome innerhalb des Bodens getroffen wird, die sich also zwischen Grundwasser und Bodenoberfläche befinden, Pilze vorkommen, werden sich diese der aufsteigenden Strömung anschliessen und so an die Oberfläche gelangen können. Diese Pilze müssen aber dann an der Oberfläche oder in den obersten Bodenschichten verbleiben, da nur das Wasser verdunstet, die gelösten Stoffe aber, die nicht flüchtig sind und besonders die festen Partikeln als Residuum zurückbleiben. Nessler[1]) hat diese Thatsache, dass die Verdunstung durch capillares Aufsteigen des Bodenwassers erfolgt, auch insofern experimentell gestützt, als er nachwies, dass die oberen Bodenschichten infolge dessen reicher werden an löslichen Stoffen (bis um das 5fache ihres ursprünglichen Gehaltes).

Es wäre zu erörtern, ob dieser Art des Transportes eine grössere Rolle zufalle als den bisher vorgeführten; ob wir für gewisse epidemiologische Erscheinungen, die einen Zusammenhang zwischen Grundwasserschwankungen und Krankheitsfrequenz (Pettenkofer) nachweisen lassen, hier eine Stütze oder ein Erklärung finden.

Es sei zuvörderst vorausgeschickt, dass viele Thatsachen aus der Bodenpilzlehre zu der Annahme drängen, die Existenz der Pilze und auch die etwa vorhandener Krankheitserreger in nicht zu grosser Tiefe zu suchen. Der so ausserordentlich langsame Transport, dem schon die löslichen Stoffe im Boden anheimfallen (in Hofmann's Versuchen legten sie innerhalb 24 Stunden nur 4—6 Mm. zurück), die offenbar ungünstigen Bedingungen für die Pilze in den tieferen Schichten des Bodens, die allmählich ein Verschwinden derselben schon in mässiger Tiefe erkennen lassen, sprechen dafür, und so ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Steighöhe, die die Pilze zu überwinden haben, keine erhebliche ist.

Es wäre aber der Einwand zu machen, dass die Bodenschichten beim Austrocknen allmählich der Capillarität entrückt sind, indem dadurch, dass das von unten aufzusteigende Wasser in Folge der Austrocknung zu tief sinkt, schliesslich auch der capillare Wasserstrom eine tiefere Lage einnimmt, und die obersten Schichten vollkommen austrocknen, und nur noch die von unten her mit Wasserdampf beladene Luft durch sich hindurchtreten lassen. Dagegen sei auf das

1) Bericht über die Arbeiten aus der Versuchsstation Karlsruhe. 1870.

zuerst von Liebenberg (S. 97) hervorgehobene und später von Anderen bestätigte Verhalten des Bodens in Versuchsröhren hingewiesen, nach welchem das Wasser auch dann, wenn die am unteren Ende der Röhre befindliche Quelle der Befeuchtung entfernt wird, gegen die Oberfläche zu weiter aufsteigt.

Einer vollständigen, dauernden Austrocknung der oberflächlichsten Bodenschichten wirken aber auch noch die Temperaturverhältnisse der Bodenoberfläche resp. der oberflächlichsten Bodenschichten entgegen. Die Bodenoberfläche kühlt sich während der Nacht sehr bedeutend ab gegenüber den tieferen Bodenschichten. Aus den S. 152 angeführten Zahlen und Fig. 8 S. 153 geht hervor, dass im Jahresdurchschnitt die Temperatur der Bodenoberfläche um 5 h. Morgens um 4—10^0 niedriger ist als die der Schichten bis nur 0,4 Meter Tiefe.

Im einzelnen Falle wird diese Temperaturdifferenz noch grösser sein, wie sich leicht aus Simultanbeobachtungen der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen ersehen lässt. Aus den im Jahre 1880 in Tiflis angestellten stündlichen Beobachtungen der Bodentemperatur in verschiedener Tiefe [1]) ergaben sich folgende Differenzen zwischen der Temperatur der Erdoberfläche und jener der tieferen Bodenschichten (für die Zeit von 4 h. Morgens, wo nach S. 143 die Bodenoberfläche ungefähr die niedrigste Temperatur besitzt). Es betrug (in ^{0} C.) der Maximalbetrag, um welchen die Temperatur der Bodenoberfläche um 4 h. Morgens niedriger ist als die des Bodens in einer Tiefe von:

	0,05 Meter	0,12 Meter	0,2 Meter	0,40 Meter	0,79 Meter
Januar	5,7	8,1	10,0	11,6	14,7
Februar	9,1	12,5	12,0	13,0	15,2
März	7,7	10,0	13,0	12,5	13,1
April	7,1	8,5	10,0	11,4	12,4
Mai	7,8	10,0	13,2	10,7	9,7
Juni	8,5	11,4	13,9	11,2	9,2
Juli	11,7	14,9	17,0	14,6	11,4
August	8,7	12,3	14,9	14,1	14,8
September . . .	7,3	10,5	14,2	13,6	16,3
October	7,9	11,8	15,9	17,0	18,5
November . . .	7,9	11,8	16,1	17,4	19,2
December . . .	8,4	9,6	13,7	17,0	21.5

Die von unten her durch die obersten Bodenschichten hindurchtretende Luft kann auf diese Weise Temperaturerniedrigungen bis

1) Beobachtungen der Temperatur des Erdbodens im Tifliser physikalischen Laboratorium. Herausgegeben von J. Mielberg. Tiflis 1881.

über 21° erfahren, bei welcher eine Condensation des Wasserdampfes um so eher eintritt, als ja die aufsteigende Bodenluft meist mit Wasser dampf gesättigt ist (S. 113) und dass diese Condensation und damit die capillare Durchfeuchtung des Bodens sich nicht bloss in der Bodenoberfläche einstellen wird, sondern auch in etwas tieferen Schichten, geht aus einer weiteren Betrachtung der Tabelle hervor; sowie die Bodenoberfläche zu bestimmten Tageszeiten kälter ist als die tieferen Bodenschichten, so sind es auch in abgestufter Weise die tieferen Bodenschichten unter einander nach ihrer Lagerung. Auch Nessler [1]) hat schon auf diese in den oberflächlichsten Bodenschichten sich etablirenden Condensationsniederschläge aufmerksam gemacht und Fusinieri's und Chistoni's [2]) Theorie der Thaubildung liegt ein Theil der hier angeführten Thatsachen zu Grunde. Es wird also in der trockenen Zeit auch bei einer Austrocknung der oberen Bodenschichten häufig genug sich wieder ein Wassergehalt etabliren, der diese capillare Strömung und diesen capillaren Transport unterstützt. Wir werden bei Betrachtung des Grundwassers sehen, dass, wie Pettenkofer nachgewiesen hat, dessen Absinken ein Maassstab für die Durchfeuchtung der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten ist, dass in dem Absinken desselben sich die Verdunstung, die Austrocknung des Bodens manifestirt, und so wird wohl durch diese Thatsachen der Einfluss der verschiedenen Bodendurchfeuchtung auf das Austreten der Pilze aus dem Boden oder wenigstens auf das Andieoberflächegelangen derselben wahrscheinlich.

Auf diese Weise kann sich in diesen obersten Bodenschichten ein immer grösserer Pilzreichthum ansammeln, der dann leicht zur Verbreitung und überhaupt zum Contact mit den Menschen führen kann. Dabei wirkt auch noch die Austrocknung der oberflächlichen Bodenschichten höchst begünstigend für das Zerstäuben dieser Pilzmassen, für das Gelangen in die Luft, in das Wasser, an die Gegenstände, mit denen wir in Berührung kommen u. s. w.

3. Es ist noch eine Art des Transports ins Auge zu fassen, bei welchem lebende Wesen die Vermittlerrolle spielen. Wenn solche an irgend einem Orte im Boden sich mit den daselbst etwa vorhandenen, niederen Organismen beladen, so können sie sie bei ihrer Weiterbewegung verschleppen. Pasteur [3]) hat mit Rücksicht auf die

---

1) Bericht über die Arbeiten aus der Versuchsstation Karlsruhe. 1870.

2) Sulle causa della formazione della Rugiada Estrato degli Anali di Meteorologia. 1880. Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. XVII.

3) Bulletins de l'Academie de médicine. 1881.

Infectiosität des Bodens von Orten, an denen Milzbrandcadaver verscharrt waren, die Regenwürmer als die Vermittler der Verbreitung angeschuldigt; sie bringen nach seiner Anschauung den Milzbrandorganismus aus den Tiefen des Bodens von den verscharrten Leichen an die Oberfläche; in den kleinen Erdcylindern, die diese Würmer auf der Bodenoberfläche deponiren, finden sich die Milzbrandkeime. Pasteur mischte Milzbrandsporen mit Erde und setzte Regenwürmer hinein; in den Erdcylindern, welche ihren Darmkanal ausfüllen, fand er die Sporen in grosser Zahl; und wenn der lockere Boden der Oberfläche von Stellen, wo Milzbrandcadaver verscharrt waren, Milzbrandkeime oft in grosser Quantität enthält, so rühren diese nach P. von dem Zerfall der kleinen excrementitiellen Erdcylinder der Regenwürmer her. Der Staub dieser zerfallenen Erde verbreitet sich über die Pflanzen der Oberfläche und so gelangen die Milzbrandkeime in die Thiere. Pasteur betont noch, dass die Regenwürmer ausserdem noch andere Keime in den Erdcylindern enthalten, Fäulniss- und Septicämiekeime.

Die Thatsache, dass Milzbrandorganismen durch Regenwürmer transportirt werden können, wird nun auch von Feltz[1]) und Bollinger[2]) bestätigt, auch Koch[3]) gibt auf Grund experimenteller Untersuchung die Möglichkeit des Transportes zu, er schwächt jedoch die Bedeutung dieses Transportes für den Milzbrand wesentlich ab, indem er zeigt, dass das zu transportirende Material, die Milzbrandsporen, sich nicht etwa in der Tiefe befindet, an der Stelle, wo die Cadaver vergraben sind, da hier nicht die zur Sporenbildung nöthige Temperatur vorhanden ist, sondern dass sich die Sporen wahrscheinlich an der Oberfläche aus den Abgängen des Cadavers gebildet haben, also ein Aufwärtstragen durch die Regenwürmer gar nicht erforderlich ist, doch macht dagegen neuestens Pasteur auf die durch Fäulnissvorgänge bedingte Temperaturerhöhung des Bodens (vergl. S. 169—170) aufmerksam.

IV. Einfluss des Bodens auf die Lebensthätigkeit und Entwickelung der niederen Organismen.

Die epidemiologischen Beobachtungen haben auch die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Bodenbeschaffenheit und der Entwickelung von Organismen wahrscheinlich gemacht.

Pettenkofer, der als Bedingung für das Zustandekommen gewisser epidemischer resp. endemischer Krankheiten (wie Abdominal-

1) Comptes rendus. XCV.

2) Arbeiten aus dem patholog. Institute in München. 1886. Ueber die Regenwürmer als Zwischenträger des Milzbrandgiftes.

3) Mittheilungen aus dem k. Gesundheitsamte. I.

typhus, Cholera u. s. w.) eine örtliche und zeitliche Disposition für unerlässlich ansieht, findet diese beiden Factoren in einem porösen, für Luft und Wasser durchgängigen und von organischen Substanzen durchtränkten Material — Boden — (örtliche Disposition), sowie in zeitweiligen Schwankungen der Durchfeuchtungs-, wohl auch der Temperaturverhältnisse (zeitliche Disposition); Schwankungen, die um einen mittleren Zustand zu oscilliren scheinen.

Nun haben wir zwar gesehen, dass diese Zustände bereits einen Einfluss auf die Wanderung von niederen Organismen im Boden besitzen, allein damit ist die Bedeutung dieser Vorgänge nicht erschöpft, es spricht eine Reihe von Beobachtungen und Untersuchungen dafür, dass auch die Lebensthätigkeit, Lebensenergie und Entwickelung der Pilze hierdurch in einer bestimmten Richtung beflusst wird.

Es ist auf S. 203 ff. erörtert worden, dass die Nitrification der organischen stickstoffhaltigen Substanzen im Boden, dass ferner die Reduction der Nitrate zu Nitriten, die Umwandlung des organischen Kohlenstoffs zu Kohlensäure mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen zurückgeführt werden kann. In diesem Falle haben wir in den auf S. 188 enthaltenen Ausführungen eine Reihe von Belegen dafür, wie sehr die chemische Beschaffenheit des Bodens, der physikalische Charakter desselben, sein Wassergehalt, seine Temperatur diese Processe, die als Aeusserungen der Lebensthätigkeit niederer Organismen aufzufassen sind, und damit die Lebensthätigkeit dieser Organismen selbst beeinflusst.

Der Werth dieser Thatsachen wird jedoch abgeschwächt durch den schon S. 206 hervorgehobenen Umstand, dass die Existenz dieser Bodenpilze noch keine wissenschaftlich vollkommen gesicherte ist. Dagegen hat Soyka[1]) den Einfluss eines Factors in dem grossen Complexe der Bodeneinflüsse, den der wechselnden Bodenfeuchtigkeit, auf die Lebensthätigkeit genau studirter Gährungspilze, und zwar des Hefepilzes, Saccharomyces cerevisiae, experimentell festzustellen versucht. Als Bodenmaterial dienten ihm Glasperlen von einem Durchmesser von ca. 0,54 Mm. und die Schwankungen der Feuchtigkeit — bei gleicher Anzahl von Organismen und zu vergährender Substanz (Zucker) — wurden in der Weise erzielt, dass zu verschiedenen Quantitäten des porösen Materials gleiche Quantitäten der mit Hefe beschickten, zu vergährenden Flüssigkeiten zugesetzt wurden. Diese Versuche wurden dann noch in der Weise variirt,

1) Soyka, Die Lebensthätigkeit niederer Organismen bei wechselnder Bodenfeuchtigkeit. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

dass auch der Einfluss der wechselnden Menge der Hefepilze in Betracht gezogen wurde.

Die Resultate dieser Versuche nach Ablauf einer 12 stündigen Gährung bei einer Temperatur von ca. 35° waren folgende:

Nummer des Versuchs	Gewicht der Glasperlen in Grm.	Annähernde Zahl der Glasperlen	Die zugesetzte Gährflüssigkeit, 10 Cbcm., repräsentirt eine Feuchtigkeit		Zucker vergohren in % des ursprünglichen Zuckergehalts bei einer Hefenmenge von		
			in % der Poren	in Kilo pro Cbm.	I 5%	II 11,4%	III 17%
1	0	0	∞	∞	50—53	75,6	89,3
2	33,0	144,570	150	523	56,6	86,0	87,5
3	49,5	216,860	100	344	65,6	83,9	93,0
4	62,0	271,620	80	278	56,25	78,6	93,0
5	99,0	433,720	50	174	37,5	57,0	93,0
6	165	722,850	30	104	37,5	57,0	76,0
7	247	1,084,300	20	67	30,5	36,0	71,0
8	495	2,168,600	10	35	0,00	28,6	63,6
9	990	4,337,200	5	17	0,00	0,00	32,4

Das erste Resultat, das aus diesen Versuchen hervorgeht, ist, dass mit der Abnahme der Bodenfeuchtigkeit die Gährung gehemmt, ja eventuell sogar vollständig aufgehoben wird. Betrug die Flüssigkeit nur 5—10 % des Porenvolums, d. h. 1,7—3,5 % des Gesammtvolums, so trat bei sonst ganz gleichen Versuchsbedingungen, bei gleichem Gährmaterial, bei gleicher Zahl von Gährungserregern keine Gährung mehr ein.

Diese Abnahme der Gährungsthätigkeit erfolgt jedoch nicht blos nach der einen Seite hin, nach der der abnehmenden Wassermenge, die Abnahme erfolgt auch nach der anderen Seite hin. Wir sehen in allen diesen Fällen, dass die Gährung in der Flüssigkeit allein, ohne jeden Zusatz von künstlichem Boden, nicht jenes Maximum erreicht, das sie im Boden zu erreichen vermag. Im Versuch I (5 % Hefe) bleibt sie um 15 % hinter dem Maximum zurück, im Versuch II (11,4 % Hefe) um 7,4 %, im Versuch III (17 % Hefe) um 3,7 %, es etablirt sich also bei einer bestimmten Bodenfeuchtigkeit ein gewisses Optimum der Entwickelung, um welches die anderen Grade dann oscilliren.

Die Erklärung für diese Erscheinung liegt wohl in der auf S. 75 etc. erörterten Eigenschaft des Bodens resp. der porösen Körper, Luft (Gase) an sich zu verdichten und festzuhalten; so bleibt jedes Bodenpartikelchen (jede Glasperle) mit einer minimalen Lufthülle umschlossen, die auch bei innigem Schütteln mit der Flüssigkeit nicht entweicht, sondern erst durch die Wärme ausgetrieben werden kann. Diese Lufthüllen und der in ihnen vorhandene Sauerstoff be-

fördern die Gährung wesentlich; die Flüssigkeit ist auf diese Weise auf einer viel grösseren Oberfläche mit der Luft in Berührung als dort, wo sich blos Flüssigkeit und kein Boden befindet, wo also nur an der Oberfläche die Einwirkung des Sauerstoffs sich intensiver geltend macht. Der in der Flüssigkeit selbst absorbirte Sauerstoff repräsentirt dem gegenüber eine viel geringere Menge. HOPPE-SEYLER[1]) hat auch gezeigt, wie bei der Gährung der an der Oberfläche absorbirte Sauerstoff rasch aufgebraucht wird und nur auf sehr geringe Strecke in die Tiefe dringt.

Nach der auf S. 76 gegebenen Berechnung betrug die gesammte Oberfläche der Glasperlen in jenen Versuchsnummern, die das Maximum der Vergährung ergaben, in Nr. 3 I (5 % Hefe) 0,21 □Meter, in Nr. 2 II (11,4% Hefe) 0,14 □Mt., in Nr. 4 III (17% Hefe) 0,26 □Mt. Um die Flüssigkeitsmenge von 10 Cbcm. derart zu vertheilen, dass sie in horizontaler Ausbreitung diese Oberflächen darbietet, müsste sie in ein Gefäss gebracht werden, dessen Durchmesser 20—40 Cm. beträgt; sie würde in diesem Falle den Boden nur in einer Höhe von 0,04—0,08 Mm. bedecken.

Als weiteres, beachtenswerthes Resultat geht aus diesen Versuchen hervor, dass die gährungshemmende Wirkung grosser Trockenheit bis zu einem gewissen Grade compensirt werden kann durch die Menge der Gährungserreger; es kann dies als eine Analogie angesehen werden zu der Erfahrung aus dem Gebiete der Infectionslehre, dass mitunter für die Infection, insbesondere für die Schwere der Infection, die Menge der eingeführten Organismen maassgebend sei. Die Zahl der Gährungserreger verhält sich in diesen drei Versuchen wie 1 : 2 : 3. Hand in Hand damit geht die Intensität der Gährung, und so wurde der Punkt, wo in Folge Wassermangels die Gährung überhaupt nicht mehr stattfinden kann, immer weiter hinausgerückt, so dass er bei dem dritten Versuch (17 % Hefe) gar nicht mehr erreicht wird.

Auch für das Aufhören der Gährung, also die Aufhebung der Lebensthätigkeit der Hefezellen bei zu grosser Trockenheit, dürfen gewisse physikalische Vorgänge verantwortlich gemacht werden. Je trockener der Boden, je grösser die Zahl der Bodenkörner im Verhältniss zur Flüssigkeit, desto dünner werden die Flüssigkeitslamellen; sie betragen z. B. in Versuch 9 nur noch 0,002 Mm. oder 2 μ; ihre Höhe erreicht also nicht einmal mehr die Dicke des Zelldurchmessers und jedenfalls wird durch die hierbei herrschenden, capillaren Spannungen in den Flüssigkeitslamellen die Diffusion gestört.

1) HOPPE-SEYLER, Ueber die Einwirkung des Sauerstoffs auf Gährungen. Festschrift u. s. w.

Die eben besprochenen Versuche beziehen sich jedoch nur auf Sprosspilze und behandeln nur eine Art von Lebensthätigkeit derselben, die Gährung, die zwar zu manchen pathologischen Processen in Analogie gebracht werden kann, die jedoch bei dem jetzigen Stande unseres Wissens doch noch nicht genügende Aufklärung über den Zusammenhang zwischen Boden und Ausbreitung von Krankheiten geben kann.

Bei der Uebertragung analoger Versuche auf Spaltpilze liess sich aber noch ein anderes biologisches Problem berücksichtigen, nämlich die Möglichkeit der Entwickelung von Dauerformen, soweit sie bereits bei einzelnen Spaltpilzen in der Form von Sporen constatirt sind. Eine Beeinflussung der Sporenbildung durch diejenigen Momente, welche wir als das Wesen der örtlichen und zeitlichen Disposition eines Bodens hingestellt haben, schien schon deshalb nicht unwahrscheinlich, als bei der Sporenbildung zwei Factoren mitwirken, Sauerstoffzufuhr und erschwerte Lebensbedingungen, wie z. B. festes Nährmaterial, welche gerade bei dem Wachsthum im Boden mit in die Erscheinung treten.

Soyka [1]) hat diese Frage in analoger Weise, wie soeben geschildert wurde, mit Rücksicht auf Heubacillen und besonders mit Rücksicht auf Milzbrandbacillen einer experimentellen Prüfung unterzogen, indem er chemisch reinen Quarzsand von einem Korndurchmesser von 0,2 Mm. und einem Porenvolumen von 38,8 % mit einer mit Milzbrandbacillen (ohne Sporen) inficirten Nährlösung in derartigem Verhältniss vermengte, dass er Feuchtigkeitsschwankungen von:

150 100 75 50 25 20 10 5 % des Porenvolums resp.
588 392 294 196 98 78,5 39 19,6 Kgrm. Flüssigkeit im Cubikmeter feinen künstlichen Bodens erhielt, also Schwankungen, wie sie nach Hofmann (S. 79) auch in der Natur vorkommen.

Da die Sporenbildung sowohl eine Function der Temperatur als auch der Zeit ist, so wurden die Versuche nach diesen beiden Richtungen hin variirt. Als Versuchsflüssigkeit diente peptonisirte und neutralisirte Bouillon. Der Nachweis der Sporen erfolgte theis morphologisch durch mikroskopische Untersuchung (Doppelfärbung), theils durch biologische Differenzirung, indem durch Erhitzung die vegetativen Formen getödtet wurden und sodann nach erfolgter Aussaat und Cultur (auf Platten) nur die Sporen zur Entwickelung gebracht wurden. Die Versuchsresultate lassen sich kurz in folgender Tabelle resumiren:

1) Bacteriologische Untersuchungen über den Einfluss des Bodens auf die Entwickelung von pathogenen Pilzen. Fortschritte der Medicin. IV. 1886.

Versuchsnummer	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Die Flüssigkeit betrug in % des Porenvolums .	∞	150	100	75	50	25	20	10
Die Flüssigkeit betrug Kgrm. auf 1 Cbm. Boden	∞	588	392	294	196	98	78,5	39,2
1. Vers.-Resultat bei 36—37° C. nach 5 Stdn. a*)	nirgends freie Sporen nachzuweisen							
2. 〃 〃 〃 〃 〃 10 〃 a	keine freien Sporen		—	freie Sporen in mässiger Menge		keine freien Sporen	—	—
3. 〃 〃 〃 〃 〃 24 〃 b	keine freien Sporen nachweisbar				freie Sporen in grosser Menge		vereinzelte freie Sporen	
4. 〃 〃 〃 〃 〃 24 〃 a	keine freien Sporen	freie Sporen vereinzelt	—	freie Sporen ausserordentlich massenhaft		vereinzelte freie Sporen	—	—
5. 〃 〃 〃 〃 〃 48 〃 a	vereinzelte freie Sporen	freie Sporen etwas reichlicher	—	〃	〃	〃 〃	—	—
6. 〃 〃 〃 28—30° 〃 16 Stdn. c	nirgends freie Sporen nachzuweisen							
7. 〃 〃 〃 〃 〃 40 〃 c	keine Sporen		—	keine freien Sporen		freie Sporen	—	—
8. 〃 〃 〃 〃 〃 3 Tgn. e	keine freien Sporen	freie Sporen in geringer Zahl	—	sehr reichlich freie Sporen			—	—
9. 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 a	〃 〃	〃 〃	—	〃 〃		etwas geringere Anzahl freier Spor.	—	—
10. 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 e	sehr vereinzelt freie Sporen	freie Sporen etwas reichl.	freie Sporen sehr reichlich, Maximum		freie Sporen in mässiger Anzahl			
11. 〃 〃 〃 〃 〃 5 〃 d	keine freien Sporen	freie Sporen in geringer Anzahl	—	massenhaft freie Sporen			—	—
12. 〃 〃 〃 20—24° 〃 2 Tgn. f	nirgends freie Sporen nachzuweisen							—
13. 〃 〃 〃 〃 〃 3 〃 g	keine freien Sporen		freie Sporen ziemlich reichlich		freie Sporen nachweisbar			—
14. 〃 〃 〃 〃 〃 4 〃 f	keine freien Sporen		beginnende Sporenbildung	reichlich freie Sporen	freie Sporen in geringerer Menge			—
15. 〃 〃 〃 〃 〃 6 〃 f	keine freien Sporen	massenhaft freie Sporen				freie Sporen spärlicher		—
16. 〃 〃 〃 14—19° 〃 7 〃 g	〃 〃	?	—	Sporen	?	?	—	

*) Die Buchstaben a, b, c u. s. w. deuten an, welche Ergebnisse zu je einem Versuche gehören.

Bei diesen Versuchen tritt zuvörderst der Einfluss des Bodens als solchen in die Erscheinung.

In sämmtlichen Versuchsreihen, die bei verschiedenartigen Temperaturgraden durchgeführt wurden, sehen wir, dass es bei den dem Einflusse des Bodens unterliegenden Milzbrandbacillen stets zu einer Zeit zur Bildung von Sporen kam, innerhalb welcher dies in den Flüssigkeiten allein noch nicht geschehen war. Der Boden wirkt also zum mindesten beschleunigend auf die Entstehung der Milzbrandsporen. Während z. B. in Versuch 15. 0. in der Flüssigkeit ohne Bodenzusatz noch nach 6 Tagen keine freien Sporen nachgewiesen werden konnten, waren sie im Boden schon nach 4 Tagen nachzuweisen (14. III—VI), während sie in der Versuchsreihe 1. 2. 4. 5 in der Flüssigkeit allein (0) erst nach 48 Stunden, keineswegs vor Ablauf von 24 Stunden sich fanden, war ihre Anwesenheit im Boden schon nach 10 Stunden sicher zu constatiren (Versuch 2. III—IV) [1].

Sodann tritt, womöglich noch prägnanter, die Schwankung in der Bodenfeuchtigkeit, das quantitative Moment derselben in die Erscheinung; es scheint in der That ein gewisses Optimum der Bodenfeuchtigkeit vorhanden zu sein, bei dem sich die Sporenbildung am raschesten, am sichersten und am massenhaftesten etablirt; diejenigen Feuchtigkeitsgrade, die einer Anfüllung von 75—50 oder bis zu 25 % der vorhandenen Hohlräume mit Flüssigkeit entsprechen, scheinen für die Entwickelung von Sporen die günstigsten zu sein.

Dort, wo ein grösserer Feuchtigkeitsgehalt, 150 %, 100 %, zur Wirkung kam, entwickelten sich zwar auch Sporen, aber entweder später oder wenigstens viel weniger zahlreich, und ebenso dort, wo die Feuchtigkeit unter diesem Optimum verblieb (25 %, 20 %, 10 %), wenn auch hier die Schwierigkeiten der Untersuchung ob der allzu grossen Vertheilung zu bedeutend werden, um ein entscheidendes Urtheil zu gestatten.

Soyka präcisirt nun den Einfluss des Bodens und der wechselnden Bodenfeuchtigkeit nach diesem Ergebniss für die Entwickelung der Milzbrandsporen (resp. Heubacillussporen) folgendermaassen:

1. „Die Sporenbildung beim Milzbrandbacillus (es gilt dasselbe für den Heubacillus), erfolgt unter Mitwirkung des Bodens viel rascher als ohne Betheiligung desselben.

---

[1]) Zu dieser Versuchsreihe sei bemerkt, dass dieselbe vorher durch zwei Tage bei einer Temperatur von 10—14° im inficirten Zustande aufbewahrt gewesen war.

2. „Ein bestimmtes Verhältniss zwischen Flüssigkeit und Boden, ein bestimmter Feuchtigkeitsgrad des Bodens scheint diese Entwickelung besonders zu begünstigen. Die Sporenentwickelung kann bei diesem Feuchtigkeitsgrade in der Zeit von wenigen Stunden beendet sein (vgl. Versuch b, Versuchsreihe I), während bei anderen Feuchtigkeitsgraden oder gar bei aufgehobenem Bodeneinfluss Tage vergehen können, bis es in der Flüssigkeit zur vollen Entwickelung der Sporen kommt.

3. „Der Boden im Allgemeinen und ein gewisser Grad der Bodenfeuchtigkeit im Besonderen wirkt ähnlich beschleunigend auf die Sporenbildung, wie innerhalb gewisser Grenzen die Temperatur."

Bezüglich dieses Punktes scheint jedoch ein bestimmtes Minimum der Temperatur, wie es Koch für die Sporenbildung beim Milzbrandbacillus mit ca. 16° gefunden, unerlässlich.

In jenen Fällen also, wo sich ein geeignetes Nährmaterial, eine günstige Temperatur und ein Optimum der Bodenfeuchtigkeit mit einander combiniren, wird sich nach Soyka die Sporenbildung in relativ sehr kurzer Zeit einstellen.

Die Ursachen für diesen Einfluss des Bodens und der bestimmten Bodenfeuchtigkeit auf die Sporenbildung scheinen analog dem Einflusse auf die Gährthätigkeit auf einfache physikalisch-chemische Momente zurückgeführt werden zu können. Für die Bildung der Sporen sind ausser einer bestimmten Temperatur besonders zwei Momente maassgebend; eine gewisse Erschöpfung des Nährmaterials, vielleicht auch eine ungünstige Beeinflussung desselben durch die eigenen Zersetzungsproducte, und sodann eine Einwirkung des Sauerstoffs der Luft, wie dies schon für viele Spaltpilze und von Koch speciell für den Milzbrandbacillus nachgewiesen ist [1]).

Ein jedes dieser Momente kann aber im Boden unter den hier discutirten Verhältnissen in gesteigerter Weise zur Geltung kommen.

1. Was zunächst die Alteration des Nährmaterials betrifft, so sei darauf hingewiesen, dass mit Ausnahme von jenem Fall, wo 150 % der Poren mit Flüssigkeit erfüllt waren, überall die Flüssigkeit nur als Ausfüllung capillarer Hohlräume und in Form eines dünnen Ueberzugs über den Quarzkörnern vorhanden war. Vorausgesetzt, dass sich die einzelnen Körner gleichmässig mit einer Wasserhülle umgeben haben, lässt sich auch die Dicke dieser Schicht für jeden einzelnen Feuchtigkeitsgrad annähernd berechnen. Sie beträgt bei einer Feuchtigkeit

von	75 %	50 %	25 %	20 %	10 %	5 %	1 %
in Mm.	0,0151	0,0105	0,0057	0,0045	0,0023	0,0011	0,0002.

In solchen dünnen, capillaren Lamellen sind nun die Cohäsionskräfte sehr mächtig, und es wird hierdurch der Austausch des Inhalts der Flüssigkeitshüllen unter einander jedenfalls sehr erschwert; wir haben auf diese Weise die mit den Milzbrandbacillen inficirte Flüssigkeit in der That in

1) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. 2. S. 282.

eine Art festen Nährsubstrats umgewandelt, die Pilze sind, so lange keine mechanische Erschütterung, kein Schütteln des Bodens erfolgt, gewissermaassen fixirt, und ähnlich wie bei der Kartoffel, nur auf eine dünne Schicht ihres Nährsubstrats angewiesen.

Es ist ferner wahrscheinlich, dass in solchen dünnen Flüssigkeitslamellen durch die gesteigerte Cohäsionskraft, durch die capillaren Spannungen auch die Diffusion eine erschwerte ist, dass also der Pilz sein Nährmaterial in der Nachbarschaft aufbraucht, es mit seinen Stoffwechselproducten sättigt, ohne dass es ebenso rasch, wie in einer freien Flüssigkeit, ersetzt wird.

Diese Betrachtung führt aber auch dazu, als das Maass für das zur Sporenbildung taugliche Optimum der Bodenfeuchtigkeit nicht so sehr das Verhältniss zwischen Flüssigkeitsmenge und Porenvolumen anzunehmen, als vielmehr das Verhältniss zwischen Flüssigkeitsmenge und Capillarität der Hohlräume, resp. Wassercapacität. Es wird die Dicke der Wasserhülle maassgebend sein, die auf einem Korn sich ablagert; und da treten, bei gleichbleibendem Porenvolumen und bei gleicher Dicke der Flüssigkeitshülle sehr bedeutende Schwankungen auf, je nach der Grösse des den Boden zusammensetzenden Kornes. Der Durchmesser der in den hier beschriebenen Versuchen verwendeten Quarzkörner betrug 0,2 Mm. Bei einem Durchmesser von 1 Mm. würde bei gleichem Porenvolumen die Menge des in einer gleich dicken Schicht zurückgehaltenen Wassers nur noch den fünften Theil der Flüssigkeit betragen.

2. Was sodann die gesteigerte Einwirkung des Sauerstoffs anbelangt, so ist zu bedenken, dass das hier zur Anwendung gelangte Bodenmaterial eine Oberfläche repräsentirt, die diejenige, mit welcher sonst die Flüssigkeit mit der Luft in Berührung kommt, weit übertrifft. Ein Analogon bieten auch die Versuche Löffler's (Mittheilungen aus dem Gesundheitsamte I.), welche die Begünstigung der Sporenbildung in dünnen Flüssigkeitsschichten demonstriren. In den Versuchen, wo, bei gleicher Quarzmenge, die Flüssigkeitsmenge variirte, betrug die Oberfläche sämmtlicher Körner 949 □Cm., das mehr als 75fache derjenigen Fläche, mit welcher die Flüssigkeit an und für sich in dem Kölbchen mit der Luft in Berührung stand (der Durchmesser der Kölbchen betrug 4 Cm., der Querschnitt also 12,56 □Cm.), auf diese Weise ist eine intensive Einwirkung des Sauerstoffs um so leichter zu verstehen, als die Flüssigkeitsschichten sehr dünn und der Sauerstoff auf dieselben sogar von zwei Seiten einzuwirken vermag: Alle festen Körper condensiren an ihrer Oberfläche Gase, die sie erst bei höheren Temperaturen abgeben; nach Chappuis condensirt 1 □Mm. Glasoberfläche 0,00035 Cbmm. Luft, nach Bunsen gar 0,0507 Cbmm. Kohlensäure (vergl. S. 76). Diese Lufthüllen werden durch die Flüssigkeit bei niederer Temperatur nicht verdrängt, die Flüssigkeitshüllen legen sich offenbar über sie und werden also von zwei Seiten von Luft umspült.

Diese Erscheinung erklärt offenbar auch jenes vielleicht paradox erscheinende Resultat, nach welchem ein Boden, dessen sämmtliche Poren mit Flüssigkeit gefüllt sind, ja, der sogar von Flüssigkeit überschichtet ist, doch die Sporenbildung beschleunigt. Es sind hier offenbar die Lufthüllen um die einzelnen Bodenkörner, die die Sporenbildung beschleu-

nigen, um so leichter beschleunigen, als die Milzbrandbacillen bei ihrem typischen Wachsthum in Flüssigkeiten sich nicht an der Oberfläche, sondern in den tieferen Schichten, am Boden entwickeln. Dann wird auch noch die durch die Einlagerung des Bodens bedingte Erschwerung innerer Strömungen in der Flüssigkeit mitwirken.

Gelangen also milzbrandhaltige Flüssigkeiten, die ein geeignetes Substrat für die Sporenbildung abgeben (Milzbrandblut), auf die Bodenoberfläche, und werden sie hier aufgesaugt, so wird es gewiss in einer grossen Zahl der Fälle und in einem grossen Theil des Jahres zur Sporenbildung kommen müssen, und zwar sind hierher folgende zwei Gründe maassgebend:

1. Die relative Schnelligkeit, mit der sich bei geeigneter Temperatur und bei günstiger Feuchtigkeit die Sporen im Boden bilden (S. 232).
2. Die Fixirung und langsame Abwärtsbewegung der in den Boden eindringenden Flüssigkeit (S. 177).

Die Flüssigkeit, die in den Boden einsickert, wird sich an die Bodenpartikelchen anlegen und eine diffuse Verunreinigung erschweren, die dagegen in Flüssigkeiten allein, die auf der Oberfläche, als stehende Flüssigkeitsschicht, sich ausbreiten, leicht zu Stande kommt. Während in der Flüssigkeit allein der Milzbrandbacillus durch Fäulniss, Austrocknen u. dergl. früher zu Grunde geht, bevor es zur Sporenbildung kommt, wird er im Boden leicht bis zu diesem Stadium gelangen, das ohnehin viel früher eintritt, begünstigt durch den Umstand, dass diese Stoffe eine längere Zeit in den obersten Bodenschichten verweilen.

Zu diesem langen Verweilen in den obersten Bodenschichten kommen sodann die durch die Insolation bedingten eigenartigen Temperaturverhältnisse gerade dieser oberflächlichsten Bodenschichten (S. 142 ff.), soweit es sich um den täglichen Gang derselben handelt. Dass diese Temperatur der obersten Bodenschichten zu bestimmten Tages- und Jahreszeiten sehr hohe Grade erreichen kann, geht schon aus den bisher bekannten Beobachtungen hervor.

Es genügt hier jedoch nicht, sich auf die Betrachtung von Monats- oder Stundenmitteln zu beschränken, man muss die zu bestimmten Tagesstunden wirklich beobachteten Temperaturen in Berücksichtigung ziehen. Aus der geringen Anzahl verwerthbarer Beobachtungen, die existiren, seien hier die für Mitteleuropa ziemlich maassgebenden Temperaturen der Bodenoberfläche Magdeburgs [1]) angeführt. Es sind

---

1) Jahrbuch der meteorologischen Beobachtungen der Wetterwarte der Magdeburgischen Zeitung. Herausgegeben von R. Assmann. II. 1883.

die innerhalb eines Monats wirklich zur Beobachtung gelangten Maxima und Minima (keine Mittelwerthe) angeführt und sei noch bezüglich der Würdigung derselben besonders hervorgehoben, dass diese Erwärmung der Erdoberfläche sich doch noch bis in eine gewisse Tiefe erstreckt. Nach den Beobachtungen in Tiflis (l. c.) ist die Temperatur des Bodens in einer Tiefe von 0,01 Meter wohl vielfach um 2—5⁰ niedriger als die der Erdoberfläche, aber sie ist auch vielfach höher, ja sie übertrifft die Temperatur der Erdoberfläche bis um 8,6⁰, wie dies z. B. am 6. Aug. 1880 gewesen, wo die Bodenoberfläche um 2 h. p. m. 44,7⁰ C., die Tiefe von 0,01 Meter aber 53,3⁰ C. hatte, und am 18. Aug. 1880 um 2 h. p. m. betrug sogar die Differenz zu Gunsten der Bodentiefe von 0,01 Meter 13,7⁰, die Bodenoberfläche hatte 37,7⁰, die Tiefe von 0,01 Meter 51,4⁰.

Erdbodentemperatur in 0,00 Meter Tiefe in Magdeburg 1883.

	8 h. a. m.		2 h. p. m.		8 h. p. m.		grösstes	kleinstes	grösstes	kleinstes
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Minimum		Maximum	
Januar . .	—6,4	7,4	—1,8	9,8	—4,8	4,8	—8,5	4,2	10,0	—0,8
Februar .	—2,4	5,2	0,2	9,6	—0,4	6,5	—4,3	+0,8	11,3	0,5
März . .	—5,4	0,6	—1,4	9,2	—1,4	2,8	—10,4	—0,8	12,3	—0,6
April . .	0,2	10,0	6,2	21,4	2,6	11,4	—3,0	5,0	30,3	7,0
Mai . . .	7,0	20	11,4	35,6	8,4	22,8	0,3	14,7	44,0	16,5
Juni . . .	15,8	25,8	21,0	44,4	17,8	27,0	7,0	16,2	47,8	25,4
Juli . . .	13,4	28,2	17,2	48,2	13,6	29,2	7,5	18,8	54,0	21,7
August . .	14,2	23,3	18,0	41,2	12,9	23,0	6,7	15,9	45,0	21,3
September .	7,2	20,0	14,2	32,0	8,2	21,2	4,8	13,6	40,5	16,0
October . .	3,8	12,0	9,2	20,4	3,7	11,6	—1,0	9,9	23,2	10,0
November .	—1,0	7,0	2,0	10,8	0,2	8,5	—3,0	6,0	13,8	4,8
December .	—5,4	5,4	—1,2	8,2	—4,8	7,4	—8,0	4,3	7,3	—0,4

Es geht aus dieser Tabelle hervor, dass auch in unseren Gegenden durch längere Zeit des Jahres hindurch in der Bodenoberfläche resp. den obersten Bodenschichten wenigstens zeitweilig Temperaturen herrschen, die das Zustandekommen einer solchen Sporenbildung des Milzbrands ermöglichen. Auch Koch macht schon in seiner Discussion über die Rolle, welche die Regenwürmer beim Transport der Milzbrandorganismen spielen sollen, darauf aufmerksam, dass, wenn sich Milzbrandsporen überhaupt im Boden bilden, sie dies nur in den obersten Schichten thun können, und dass sich auch da häufig hierzu Gelegenheit finden wird.

Auch im entgegengesetzten Sinne aber, im Sinne der Abschwächung, der atténuation du virus, soll der Boden einwirken können.

Feltz [1]) füllte einen 54 Cm. langen, 18 Cm. hohen, 17 Cm. breiten Holzkasten mit Boden, der stellenweise mit frischem Milzbrandblut und mit Milzbrandculturen untermischt war, und setzte ihn dann am Laboratoriumfenster der Einwirkung der frischen Luft, den Veränderungen der Temperatur aus.

Von Zeit zu Zeit wurden nun diesem Boden Proben entnommen und mit denselben, theils im trockenen Zustande, theils im wässerigen Auszug, Impfungen gemacht.

	Resultat der Impfung von	
	6 Kaninchen	6 Meerschweinchen
Am 1. Febr. 1882 (Ablauf von 2 Monaten)	Gingen sämmtlich an Milzbrand zu Grunde.	Gingen sämmtlich an Milzbrand zu Grunde.
= 1. Mai 1883 = = 5 =		
= 1. Juli = = = 7 =		
= 1. Oct. = = = 10 =		
= 1. Jan. 1884 = = 13 =	5 Kaninchen todt, 1 überlebt.	
= 1. April = = = 16 =		
= 1. Aug. = = = 20 =	3 Kan. todt, 3 überleben.	
= 1. Nov. = = = 23 =	1 Kan. todt am 6. Tage.	
= 1. Jan. 1885 = = 25 =	Alle Kaninchen überleben.	
= 6. Juli = = = 31 =		
= 5. Dec. = = = 36 =		

Aus dem Umstande, dass in den späteren Versuchen die Kaninchen ganz oder theilweise verschont blieben, die Meerschweinchen aber stets in gleicher Weise weggerafft wurden, glaubt F. auf eine Abschwächung des Milzbrandbacillus im Sinne der Pasteur'schen atténuation du virus schliessen zu dürfen; er glaubte das Gift in analoger Weise wie z. B. durch Cultur bei höheren Temperaturen abgeschwächt zu haben.

Die Beweisführung ist jedoch eine unvollständige, und der ganze Versuch lässt vielmehr eine andere Deutung zu. Entsprechend den Untersuchungen über die geringe Lebensdauer der Milzbrandbacillen ist anzunehmen, dass es sich hier bei den späteren Versuchen ausschliesslich um Sporen gehandelt hat, die nun wohl nicht gleichmässig vertheilt und wahrscheinlich hauptsächlich in den oberflächlichsten Schichten vorhanden waren, es ist also nicht ausgeschlossen, dass diese scheinbare Abschwächung nur eine quantitative gewesen, eine allmähliche Verminderung der Milzbrandkeime, so dass hierdurch die quantitativen Verhältnisse der Infection sich allmählich ungünstiger gestalteten. Um im Sinne Pasteur's den Beweis der Abschwächung zu führen, hätte Feltz Culturversuche mit dem Boden anstellen und bei den neu gezüchteten Milzbrandorganismen abermals die Abschwächung constatiren müssen. Nach Pasteur erhält sich ja diese abgeschwächte Virulenz in den späteren Generationen.

Es ist wohl unzweifelhaft, dass fortgesetzte Untersuchungen noch mannigfache Beziehungen zwischen Boden und Mikroorganismen feststellen werden. Jedenfalls geht aus dem bisher Bekannten hervor,

1) Comptes rendus. 1886.

dass gewisse Factoren im Boden wirklich einen Einfluss sowohl auf die Verbreitung als auch auf die Entwickelung und Lebensthätigkeit der niederen Organismen nehmen können, dass diese Factoren hauptsächlich als physikalisch-chemische Zustandsänderungen in die Erscheinung treten, als solche, welche gewisse Beziehungen zwischen Luft, Wassergehalt und Temperatur des Bodens feststellen, jene Momente, die wir (S. 225) als das Wesen der örtlichen und zeitlichen Disposition auffassen.

ZWEITER THEIL.

Die Erscheinungsformen des Bodens.

ERSTES CAPITEL.

Geologischer Aufbau des Bodens[1]).

Für die Würdigung des Einflusses, welchen der Boden auf den Menschen, auf die Ausbreitung von Krankheiten nehmen kann, genügen die im ersten Theile analysirten Vorgänge keineswegs. Wenn es auch ausgesprochen werden kann, dass wir wahrscheinlich alle im Boden gelegenen Bedingungen der Ausbreitung und Entwickelung von Krankheitskeimen auf gewisse einfache physikalisch-chemische Zustandsänderungen der einzelnen Bodenbestandtheile zurückführen werden können, so muss andererseits betont werden, dass die Bedingungen wieder dieser physikalisch-chemischen Zustandsänderungen nicht so sehr in den einzelnen Bodenbestandtheilen an sich, als vielmehr in jener Gruppirung, in jener wechselseitigen Beeinflussung zu suchen sind, wie sie durch den geologischen Aufbau, durch die Gestaltung und Gliederung der Erdoberfläche ihren Ausdruck findet.

Wohl ist man von jener Verallgemeinerung zurückgekommen, zu der früher das Studium der vergleichend historisch-geographischen Pathologie geführt hatte, und welche dem geologischen Charakter des Bodens auch ein bestimmtes epidemiologisches Gepräge aufdrückt; so wollte man das Fehlen der Phthise in Schweden und Finnland auf den Einfluss der Urgebirgsformation, die grosse Fre-

---

1) Bei diesem Capitel erfreute ich mich der Mitarbeiterschaft meines Freundes Dr. A. Penck, Professor der Geographie in Wien.

quenz der ersteren in London, Paris, Wien aber auf Tertiärboden zurückführen. Vulkanischer Boden sollte eine Immunität gegen Ausbreitung des Kropfes besitzen, Thonschiefer denselben begünstigen oder gar bedingen. Die Ausbreitung der Cholera sollte vorzüglich auf dem Alluvium, dann auf Grobkalk, Thon, den kohlenführenden Schichten und dem von den Engländern so genannten Magnesiakalkstein (Zechstein), wie er in Sunderland vorkommt, erfolgen; selten zeige sie sich auf dem mittleren und oberen Sandstein, auf Quarzconglomeraten, auf Kreide, auf dem Uebergangsgebirge und zuletzt auf dem Urgebirge. Die zahlreichen Widersprüche und Ausnahmen, die allmählich immer häufiger diese Gesetze durchbrachen, waren jedoch nicht so sehr der Ausdruck dafür, dass ein solcher Zusammenhang nicht existirte, dieser Zusammenhang konnte vielmehr nur deshalb nicht seine prägnante Form finden, weil die Geologie in ihren Befunden, in ihrer Classification nicht das auszudrücken vermochte, was die Medicin, die Epidemiologie in ihr suchte.

Denn dadurch, dass der Geologie als wesentlichstes und wichtigstes Ziel die Aufgabe gestellt ist, die Geschichte der Erdkruste aus den dieselbe zusammensetzenden Gesteinen zu ermitteln, entfernt sie sich begreiflicher Weise weit von jenen Zielen, welche einer eigentlichen Bodenkunde vorschweben. Den genetischen sowie historischen Forschungen der Geologie kommt für hygienische Zwecke fürs Erste keine irgend welche Bedeutung zu, so lange es sich nicht um die Entstehung der sogenannten Oberflächenbildungen handelt. Da nun aber doch alle derartigen geologischen Bildungen an die Oberfläche gelangen, an der Oberflächenbildung theilnehmen können, so ist es nothwendig, wenigstens in Kurzem auf jene Classification der Gesteine zurückzukommen, welche seitens der historischen Geologie in Anwendung gebracht worden, und welche zum Verständniss irgend welcher geologischen Verhältnisse unbedingt nöthig ist.

A) Geologische Classification der Erdkruste.

Die Geologie gruppirt die verschiedenen Gesteine je nach ihrem Alter in verschiedene Abtheilungen und Complexe, welche sich theils durch ihre Bildungszeit, theils durch ihre Bildungsart als zusammengehörig erweisen. Derartige Complexe nannte man bislang Formationen, ohne im Ausdrucke also Bildungszeit und Entstehungsart anzudeuten. Neuerlich ist jedoch in Vorschlag gebracht worden, Complexe gleicher Bildungszeit als Systeme zu bezeichnen und den Namen Formation, wie in dessen wörtlicher Bedeutung begründet ist, für Gruppen gleicher Entstehungsart zu reserviren. Man redet nunmehr von marinen, lacustren, fluviatilen, vulkanischen und glacialen Formationen, um damit

die Entstehung gewisser Gesteine im Meere, in Binnenseen, durch Flussanschwemmungen, vulkanische oder Gletscher-Thätigkeit zu bezeichnen. Ein geologisches System hingegen, oder nach früherer Ausdrucksweise eine geologische Formation, umfasst alle die Gebilde, welche während eines bestimmten Abschnittes der Erdgeschichte, während einer geologischen Periode entstanden sind; da während aller geologischen Perioden marine Sedimente, fluviatile und vulkanische Formationen entstanden, so besteht also ein System aus einem Complexe heterogener Elemente, welche allein hinsichtlich ihrer Bildungszeit als zusammengehörig sich erweisen, welche überdies jedoch häufig mit einander in innigem Connexe stehen und in einander geschaltet sind. An verschiedenen Stellen ist die Ausbildungsweise eines Systems eine sehr differente, seine Facies wechselt oft auf kurzen Strecken, während in anderen Fällen ein und dasselbe System über grosse Entfernungen eine derartig gleichbleibende Zusammenstellung bewahrt, dass es an meilenweit entlegenen Punkten genau denselben Aufbau zeigt. Dies gilt namentlich von den Systemen jener Länder, in welchen das geologische Studium erwachte, und es sind daher häufig ursprünglich petrographische Localbezeichnungen, wie Keuper, Lias, Kreide u. s. w., zur Bezeichnung geologischer Gruppen von verschiedener Ausbildung verwerthet worden, in welchen dann allerdings mitunter der hygienische Charakter des Bodens seinen Ausdruck fand (vergl. S. 8 ff.).

Die Zeitabschnitte, in welche die Geologie die Erdgeschichte gliedert, werden fixirt durch gewisse Entwickelungsphasen des organischen Lebens. Die Bildungen des ersten Zeitalters, des archäischen, der Urzeit, enthalten keinerlei Spuren von Organismen, es wird daher dieses Zeitalter auch als das azoische (leblose) bezeichnet. Diesem archäischen oder azoischen Zeitalter gehört die Hauptmasse der krystallinischen Schiefergesteine an; Gneisse, Lagergranite, Glimmerschiefer und Phyllite sind die Repräsentanten desselben; innerhalb der Urformation hat man eine regelmässige Aufeinanderfolge von Gneiss, Glimmerschiefer und Phyllit wahrgenommen, so dass man wohl auch von Gneiss-, Glimmerschiefer- und Phyllitformationen redet und von einem laurentischen und huronischen Systeme spricht, welch ersteres, die Gneissbildungen umfassend, hier und da in ein älteres bojisches und ein jüngeres hercynisches System gegliedert wird. Sind Gneisse, Lagergranite, Glimmerschiefer u. s. w. die Sedimente der Urzeit, so stellen grosse Granitstöcke die vulkanischen Gebilde derselben dar, welche man wegen ihrer, von der der heutigen vulkanischen Gesteine abweichenden Ausbildung als plutonische Gebilde bezeichnet.

Mit dem Alterthum der Erdgeschichte, dem paläozoischen Zeitalter, stellen sich die ersten Anfänge des organischen Lebens dar. Man begegnet in den Ablagerungen dieses Zeitalters den Resten von Muscheln, Schnecken, Cephalopoden und Crustaceen, dazu gesellen sich später Fische, sowie auch Amphibien. Von Pflanzen waren nur Kryptogamen erschienen, von welchen Schachtelhalme, Bärlappe und Farne eine sehr beträchtliche Entwickelung zeigten. Man gliedert die paläozoische Gruppe in das cambrische, silurische, devonische, carbonische und dyasische System, welche die Ablagerungen der entsprechend benannten

Perioden bilden. Das cambrische, silurische und devonische System sind namentlich in England und Nordamerika in grosser Mächtigkeit und reichhaltiger Gliederung entwickelt, sie werden hier wie da in viele Unterabtheilungen, in Stufen oder Etagen zerlegt. In Deutschland und Frankreich werden sie meist durch versteinerungsarme Schiefer und Grauwacken repräsentirt, welche man früher als Grauwackenformation zusammenfasste. In Mittelböhmen findet sich das Silur namhaft entwickelt, das rheinische Schiefergebirge mit seinen Schiefern und Grauwacken gehört dem Devon an. Das carbonische System der Kohlenperiode wird nahezu überall auf der Erde durch eine gleiche Entwickelung ausgezeichnet, es birgt die mächtigsten Steinkohlenlager, welche ihm eine erhöhte technische Beachtung sichern. Die Dyasperiode ist in gleicher Weise durch eine uniforme Entwickelung charakterisirt. Ihre Ablagerungen gliedern sich in Deutschland in das Rothliegende, den Kupferschiefer und Zechstein, welche nahezu überall durch dieselbe Beschaffenheit ausgezeichnet sind. Mächtige Melaphyr- und Porphyrmassen (Rheinpfalz, Thüringerwald, Sachsen) sind die Eruptivgesteine der Dyasperiode, während Diabase und Granite die charakteristischen Massengesteine der Silur- und Devonperiode sind.

Im mesozoischen Zeitalter der Erde, dem Mittelalter, werden zu den Thieren des Alterthums vor Allem Reptilien, später Säugethiere und Vögel, zu den Pflanzen Gymnospermen und gegen Schluss des Zeitalters die Dicotyledonen hinzugefügt. Reptilien und Gymnospermen sind die herrschenden Formen beider Reiche. Dem mesozoischen Zeitalter entsprechen die secundären Formationen nach der älteren Bezeichnung; es wird gegliedert in die Trias-, Jura- und Kreideperiode.

Die Trias hat ihren Namen von der Dreitheilung, welche sie in Deutschland und Nordfrankreich zeigt. Sie gliedert sich hier in Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper. In England fehlt der Muschelkalk; Sandstein und Letten des Buntsandsteins verschmelzen hier zu dem New red Sandstone. In den Alpen herrscht wiederum eine andere Entwickelung. Auf den Buntsandstein und Muschelkalk folgen hier mächtige Kalke, wie der Wetterstein, Hallstätter-, Esinokalk, sowie die so malerische Bergformen gewährenden Dolomite Südtirols, als Repräsentanten des Keupers, und die Zwischenbildung zwischen Trias und Jura, das Rhät, erscheint hier als ein mächtiger, aus Kalken aufgebauter Complex.

Ebenso wie die Trias zeigt der Jura in Deutschland, sowie auch in England und Nordfrankreich, eine durchgreifende Gliederung. Man zerlegt das System in den unteren schwarzen, mittleren braunen und oberen weissen Jura, wozu sich in England, Nordfrankreich und Hannover noch der Wealden, die Wälderthonformation, gesellt. In den erwähnten Ländern ist der schwarze Jura oder Lias allenthalben als ein grauer Mergelkalk mit schiefrigen, oft bituminösen Einlagerungen entwickelt; der braune Jura oder Dogger ist meist ein eisenschüssiger Sandstein, der weisse Jura oder Malm ein weisser Kalkstein, welcher das Juragebirge in seiner ganzen Erstreckung zusammensetzt. Einer anderen Entwickelung des Jura begegnen wir in den Alpen, in Italien, sowie in Südfrankreich. Hier sind es fast ausschliesslich Kalke, welche das ganze System aufbauen.

Das Kreidesystem (cretaceisches System), welches man in die obere und untere Kreide oder in das Neocom und Gault einerseits, Cenoman, Turon und Senon andererseits gliedert, zeigt in Europa in den verschiedenen Provinzen eine sehr verschiedene Ausbildung. Die obere Kreide erscheint in Nordfrankreich, England und Norddeutschland als die bekannte weisse Kreide; in Mitteldeutschland wird sie durch die Formation des Quadersandsteins (Nordharz, sächsische Schweiz, Regensburg) repräsentirt, in den Alpen und Südfrankreich, in der sogenannten mediterranen Provinz, dagegen ist sie wieder anders ausgebildet. Hier erscheint sie in Gestalt fester weisser Kalke, welche namentlich auf der Balkanhalbinsel eine grosse Rolle spielen.

Die Neuzeit der Erde zeigt alle Formenkreise der Organismen vertreten; Säugethiere und Dicotyledonen haben sich zu einer dominirenden Stellung aufgeschwungen, und deutlich macht sich während dieses känozoischen Zeitalters eine Annäherung an den heutigen Zustand bemerklich. Tertiär und Quartär sind die einzigen Perioden, welche ihm angehören. Das Tertiärsystem zeigt gegenüber älteren einen besonderen Reichthum an verschiedenen Ausbildungsweisen, Facies, welcher sich nicht nur darin geltend macht, dass es in Mittel-Europa in der verschiedensten Weise erscheint, sondern auch darin, dass selbst an benachbarten Orten die Unterabtheilungen in ihrer Ausbildung Schritt für Schritt wechseln. Es lässt sich daher für das Tertiär keine allgemeine Gliederung aufstellen, welche, in Mittel-Europa wenigstens, eine und dieselbe petrographische Entwickelung zeigte; seine Unterabtheilungen, das Eocän, Oligocän, Miocän und Pliocän, sind an den verschiedenen Punkten ihres Auftretens durch verschiedene Gesteine charakterisirt, bald durch Sand, bald durch Kalkstein, bald durch Mergel; auch die einzelnen Glieder wechseln rasch ihren Gesteinscharakter. So ist bei Wien das Mittelmiocän bald als Thon, als Tegel von Baden entwickelt, bald als Sand am Fusse des Kahlenberges, bald als grobes Conglomerat, bald als Kalk im Leithagebirge. In seinem räumlichen Auftreten lässt das Tertiär deutlich eine Absonderung in verschiedene Becken erkennen. Das untere Tertiär (Eocän und Oligocän) bildet das grosse London-Pariser Becken, das jüngere Tertiär (Miocän) das Mainzer und Wiener Becken. Die grosse Braunkohlenformation Norddeutschlands gehört grösstentheils dem Oligocän an, während das Tertiär, welches die Donauhochebene bildet, zum oberen Miocän gerechnet wird (Untergrund von München). Das Pliocän ist namentlich in Italien entwickelt.

Während der Tertiärperiode machte sich allenthalben in Europa eine intensive vulkanische Thätigkeit geltend. Die Basalte in Irland, Mitteldeutschland und Böhmen, die Trachyte des Rheinlandes (Siebengebirge) und Ungarns (Schemnitz), die Phonolithe der Auvergne und des Höhgau, sie alle sind vulkanische Gesteine des Tertiärs, und die heissen Quellen, welche Böhmen, Ungarn, den Ostabfall der Alpen, die Gegend von Frankfurt a./M. und die Euganeen bei Padua (Battaglia) auszeichnen, können als die letzten Nachwirkungen vulkanischer Thätigkeit aus der Tertiärperiode angesehen werden.

Ganz besonderes Interesse erregen neuerlich nach jeder Richtung hin die Ablagerungen der Quartärperiode, der Diluvialzeit, und zwar

nicht nur weil sie von namhaften Veränderungen unterrichten, welche während der jüngsten Phase der Erdgeschichte im Beisein unserer heutigen Flora und Fauna und in Gegenwart des Menschen spielten, sondern weil sie es vor Allem sind, welche den Boden bilden, auf welchem sich die menschlichen Geschicke abspielen. Die älteren Gebilde treten selten unvermittelt zu Tage, nicht nur sind sie von einer Verwitterungskruste oft bis zu namhafter Tiefe verhüllt, sondern auch gewöhnlich lagert über ihnen eine Decke quartärer Gebilde. Die ausgedehnten Ackerbauregionen in Deutschland, Ungarn und Russland benutzen quartären Boden, die uralten Culturländer in China, Indien, Kleinasien und am Nil erstrecken sich auf quartären Gebilden.

Die quartären Ablagerungen sind vornehmlich zweierlei Ursprungs. Auf der einen Seite hat man ausgedehnte fluviatile Bildungen, auf der anderen nicht minder beträchtliche Glacialformationen als die Werke jener Gletscher, welche während der Quartärperiode im Norden Europas und Nordamerikas sich insgesammt über ein Areal von 470 000 deutschen Quadratmeilen verbreiteten. Fluviatilen Ursprungs sind die ausgedehnten Geröll- und Lehmablagerungen, welche im Unterlaufe der grossen Ströme auftreten, und das chinesische Tiefland, die Ebenen Indiens, die Po- und Donauebenen bilden. Quartäre Flussanschwemmungen finden sich ferner häufig als Terrassen in Flussthälern und bilden den unmittelbaren Boden grosser Städte (Paris, altes Seinegeröll; London, Wien z. Th., München, Dresden). Von besonderer Wichtigkeit sind die Glacialformationen. Dieselben erscheinen sowohl im Norden Europas, als auch Nordamerikas als ein zäher, thonig sandiger Geschiebelehm, welcher meist für Wasser undurchlässig ist und sich dadurch in Gegensatz zu den durchdringbaren Quartärgeröllablagerungen bringt. Häufig sind diesem Geschiebelehm einzelne Sand- und Geröllpartien eingebettet. Derselbe ist in Schweden derart allgemein verbreitet, dass ältere Gesteine nur local zu Tage treten; er bildet ferner den Boden der norddeutschen Ebene, hier allerdings in Connex mit Kiesen und Schottern, er überdeckt grosse Strecken in Nordamerika. Die Bildung sehr mächtiger Verwitterungslehme ist ein weiteres Product der Quartärperiode. Derartige Verwitterungslehme, welche man auch als Eluvialbildungen bezeichnet, spielen in Nordfrankreich (Argile à silex), in Italien (Terra rossa), in Ungarn (Nyiriok), in Ostindien, Centralafrika und Brasilien (Laterit) eine sehr beträchtliche Rolle. Sie überziehen als fast ununterbrochene Decke sämmtliche älteren Gesteine, und sie sind daher der eigentliche Boden. Auch der Löss in Mitteleuropa, Kleinasien, China und Nordamerika, welcher als angewehter Steppenboden zu deuten ist, gehört zu den quartären Ablagerungen. So ausgedehnt und wichtig die continentalen Bildungen des Quartärs sind, so wenig bedeutend sind die marinen Formationen dieser Periode; dieselben beschränken sich nur auf Küstenländer (Skandinavien).

Nicht mindere Wichtigkeit wie die quartären Ablagerungen oder Diluvialgebilde besitzen aber diejenigen Ablagerungen, deren Bildung noch heute fortdauert und welche als Novärformationen oder Alluvium zusammengefasst werden. Unablässig schreitet die Bildung von Verwitterungsproducten fort; wo Gesteine anstehen, arbeiten der Wechsel von Hitze und Kälte, das Eindringen der Feuchtigkeit und Wurzeln fort an

deren Zertrümmerung und an der Erzeugung von Verwitterungsgebilden, sie bilden die Dammerde; die atmosphärischen Niederschläge, nicht minder aber auch Wind und animalische Thätigkeit verschleppen fortwährend diese Verwitterungsproducte, und so sieht man am Fusse steiler Abböschungen in Hochgebirgen gewöhnlich sehr mächtige Trümmer- oder Schutthalden, deren Ablagerung häufig bereits geschlossen ist. Aber auch in Hügelländern finden sich an den Gehängen verschwemmte oder gerutschte Materialien, welche namentlich da, wo lose Gesteinsarten anstehen, grosse Ausdehnung erreichen; so sieht man allenthalben in Lössdistrikten den Löss an den Höhen herabgewaschen, und am Fusse sandiger Gehänge begegnet man gewöhnlich herabgeschwemmten Materialien. Es bedarf nur eines kurzen Hinweises auf die Ablagerungen von Flüssen im Inudationsgebiete, welche heute noch erfolgen, und welche bald kiesiger, bald schlammiger Natur sind (Nil), sowie an das Fortwachsen der Deltas ins Meer hinaus (Podelta), um an die wichtige Fortarbeit fluviatiler Thätigkeit zu erinnern, während das Fortwandern der Dünen handgreiflich die Wirkungen des Windes vor Augen führt (Dünen an der Ostsee und Nordsee, Dünen im Flachlande Norddeutschlands, der Gegend von Nürnberg und Frankfurt a./M.). Bekannt genug ist endlich das Weiterwachsen der Moore, die Fortdauer der Kalktuff(Travertin)bildung von Quellen in kalkhaltigen Gebieten, das stete Anwachsen der Absätze von Thermen und die noch vor sich gehende Gesteinsablagerung durch vulkanische Processe, wobei namentlich an die oft über weite Flächen verbreitete Anhäufung von vulkanischen Aschen und Sanden zu denken ist.

Allen jenen noch fortgehenden Gesteinsbildungen ist eigenthümlich, dass ihnen mehr oder minder reichlich organische Substanzen beigemengt sind. Das gilt besonders von den Sedimenten der Flüsse in Deltas. Nicht nur äussern sich diese organischen Substanzen in schädlicher Weise im Trinkwasser jener Gebiete (Weichseldelta, Niederland), sondern führen hier und da auch zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen, welche, wie bei Bohrungen erkannt, reichlich in den Anschwemmungen vorhanden sind, auf welchen Venedig steht, und die im Delta des Mississippi hier und da zu förmlichen kleinen Eruptionen führen.

Gerade den zahlreichen, geologisch meist allerdings unscheinbaren Gebilden der Quartär- und Novärzeit kommt also bei einer Bodenkunde besonderes Interesse zu, und sie sind es vor Allem gewesen, welche bisher hinsichtlich ihrer physikalischen Beschaffenheit am genauesten studirt sind. Gerade aber auch die Quartär- und Novärgebilde, das Diluvium und Alluvium, zeichnen sich durch den häufigen Wechsel ihrer Beschaffenheit aus, und in diesem Wechsel liegt die Ursache, warum es nur in seltenen Fällen hat gelingen können, klare Beziehungen zwischen Boden und hygienischen Fragen zu ermitteln. Es ist kein Zufall, dass gerade in München derartige Beziehungen zuerst aufgefunden wurden, denn in München treten die Quartärgebilde in einer ungewöhnlichen Einheitlichkeit auf.

B. Lagerungsverhältnisse der Bodenbestandtheile.

Die Art und Weise, in welcher die verschiedenen Gesteine vorkommen und durch ihr Zusammentreten den Bau der Erdkruste bedingen, ist ausser-

ordentlich verschieden, und diese Lagerungsverhältnisse zu erforschen ist Aufgabe der stratigraphischen Geologie.

Die beiden Hauptgruppen von Gesteinen, die geschichteten und massigen, welche wir unterschieden, verhalten sich in ihren Lagerungsverhältnissen sehr different, und damit auch machen sich tiefgreifende Unterschiede in ihrer physikalischen Beschaffenheit geltend, besonders beim Hinzutreten jenes petrographischen Bestandtheils der Erdkruste, des Wassers, der für die hygienische Beurtheilung des Bodens von so grosser Bedeutung ist.

Die Schichtgesteine documentiren ihre Schichtung der Regel nach durch ein System feiner Klüfte und Sprünge, welche den Schichtflächen folgen, und zwar derart, dass sie bisweilen ermöglichen, Schicht für Schicht zu entfernen. Fehlen, wie nicht selten der Fall, Fugen zwischen den verschiedenen Schichten, so offenbart sich die Schichtung durch leise Nüancirungen im petrographischen Charakter. Oft geht beides aber Hand in Hand, es differiren nicht nur die verschiedenen Schichten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, sondern sind auch durch Klüfte von einander getrennt. Zumal in Kalkgesteinen sieht man die einzelnen Kalkschichten durch thonige Lagen von einander getrennt. Die Mächtigkeit der Schichten, ihre Stärke, schwankt in weiten Grenzen, sehr starke Schichten nennt man wohl auch Bänke.

Verschiedene Schichtgesteine können entweder gleichmässig über einander liegen, concordant, in welchem Falle die Schichtflächen des einen Gesteines genau denen des anderen parallel lagern, oder sie liegen discordant über einander, dann haben die Schichtflächen eine verschiedene Stellung zu einander. Untersucht man die Erstreckung zweier Schichtgesteine, so sieht man oft das obere weiter als das untere sich ausdehnen, es besitzt eine übergreifende Lagerung; ferner beobachtet man bei der Verfolgung eines Schichtencomplexes, dass eine Schicht dünner und dünner wird und schliesslich ganz verschwindet, sie keilt sich aus. Gelegentlich stellt sich statt ihrer dann eine andere Schicht ein, und indem sich dies in einem Complexe in der Verticalen mehrfach wiederholt, greifen Schichten verschiedener Gesteine in einander ein. Die Stelle, wo eine Schicht unter einer anderen an der Erdoberfläche zum Vorschein kommt, heisst ihr Ausstrich oder Ausbiss. Schichten nutzbarer Gesteine heissen Flötze oder Lager.

Die Stellung der Schichten wird durch ihr Streichen und Fallen bestimmt. Das Fallen einer Schicht ist ihr stärkster Neigungswinkel, die Streichungsrichtung ist die zur Fallrichtung senkrechte. Streichungs- und Fallrichtung werden durch den Winkel angegeben, den sie mit dem Meridiane machen; der Fallwinkel ist der Winkel, welchen sie mit der Horizontalebene bilden. Fällt ein Gestein unter 45° nach N 90° O, so bildet seine Fallrichtung mit der Nordsüdlinie einen Winkel von 90° nach Ost, es fällt also nach Ost und bildet mit der Horizontalebene einen Winkel von 45°. Es streicht dann von Nord nach Süd. Die Streichungsrichtung wurde früher in Stunden (h) zu 15° gemessen.

Die Schichtung deutet eine successive Ablagerung des Gesteins an, und der Regel nach erfolgt dieselbe derart, dass die einzelnen Schichten horizontal, sei es unter Wasserbedeckung, sei es auf festem Lande,

abgelagert wurden; nur in seltenen Fällen ist eine ursprünglich geneigte Ablagerung denkbar (Schutthalden, Deltas), und überhaupt ausgeschlossen ist die Möglichkeit, dass die Schichten in einer Neigung von über 35° abgelagert wurden. Die meisten Schichtgesteine der Erde finden sich jedoch in geneigter Stellung, sie haben nach ihrer Ablagerung Schichtenstörungen erfahren. Dieselben bestehen zumeist darin, dass die Gesteine zusammengeschoben, gefaltet wurden. Sie bilden nunmehr keine horizontalen Lager mehr, sondern Falten. An einer solchen Falte lassen sich mehrere Glieder unterscheiden. Sie setzt sich zusammen (Fig. 14) aus einem Gewölbe oder Sattel, auch Anticlinale genannt (*ABC*), und aus einer Mulde (*CDE*). Synclinale, Sattel und Mulde haben ihre Flügel (*AB*, *BC* Sattelflügel, *CD*, *DE* Muldenflügel); an der aus Mulde und Sattel zusammengesetzten Falte werden unterschieden Gewölbeschenkel *AB*, Mittelschenkel *BD*, Muldenschenkel *DE*. In Gebirgen sind häufig viele Falten dicht an einander gelagert, und zwar derart, dass die Schichtenstellung eine fächerförmige zu sein scheint. Weit ausgedehnte Mulden heissen Becken.

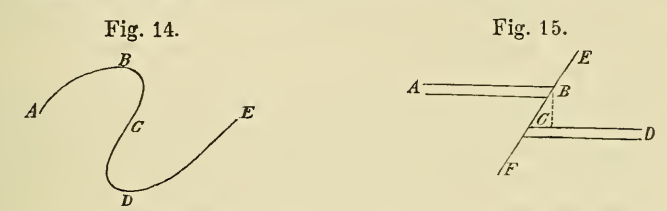


Fig. 14. Fig. 15.

Einen besonderen Fall der Schichtenstörungen oder Dislocationen stellen die Verwerfungen dar. Eine einzelne Schicht ist nämlich in ihren einzelnen Partien verschieden stark dislocirt worden, und zwar derart, dass ihr ursprünglicher Zusammenhang, welcher bei der Faltenbildung bewahrt wurde, gestört worden ist. Sie ist zerrissen und ihre einzelnen Abtheilungen sind gegen einander verschoben (*AB* und *CD*, Fig. 15). Die Spalte, längs welcher sie verworfen sind (*EF*), nennt man Verwerfungsspalte oder Verwerfer, die Höhe *BC*, um welche sie verschoben wurden (*BC*), Sprunghöhe der Verwerfung. Den Verwerfungsspalten kommt nicht nur erhöhtes geologisches Interesse durch die häufig wahrnehmbare, nachträgliche Ausfüllung durch Erze u. s. w. oder Massengesteine zu, sondern auch deswegen, weil sie häufig die Wege darstellen, auf welchen warme Quellen dem Erdinnern entsteigen. Die meisten Thermen liegen auf Verwerfungsspalten, und haben daher häufig in benachbarten Gebieten eine lineare Anordnung. So folgen die böhmischen Thermen einer Dislocationslinie am Abfalle des Erzgebirges, die Bäder Niederösterreichs und Steiermarks liegen auf einer Verwerfungslinie am Ostabfalle der Alpen.

Gesteine, welche sehr stark zusammengeschoben sind, verlieren bisweilen ihre Schichtung und statt derselben stellt sich eine Absonderung ein, welche man Schieferung (Clivage) nennt. Es wird das Gestein dann von zahlreichen parallelen Klüften durchsetzt, welche es in einzelne schichtähnliche Platten zerlegen. Dieselben durchsetzen unter beliebigem Winkel die ursprüngliche Schichtung, welche sich dann nur noch durch den mit ihr verbundenen Wechsel im Gesteinscharakter zu verrathen pflegt.

Die massigen Gesteine stellen keineswegs völlig homogene Gebilde dar, auch sie besitzen ein gewisses Gefüge, eine besondere Absonderung. Häufig sind sie plattenförmig abgesondert, d. h. in einzelne mehr oder minder mächtige Platten zerlegt (Phonolith), oder sie bestehen aus einzelnen Säulen und sind säulenförmig abgesondert (Basalt). Andere Massengesteine sondern sich in mächtige Bänke, sie sind bankförmig abgesondert (Granit). Gewisse structurelle oder substantielle Modificationen innerhalb eines Massengesteins nennt man Schlieren.

Ist den Sedimentgesteinen die concordante oder discordante Ueberlagerung eigenthümlich, so kommt den Massengesteinen die durchgreifende Lagerung specifisch zu, d. h. in irgend welcher Partie ihres Auftretens setzen sie durch fremde Schichten quer hindurch, indem sie entweder schmale Gänge oder mächtige Stöcke und Massive bilden. Dieselben stellen die Wege dar, auf welchen sie einst dem Erdinnern entquollen. Hier und da sieht man aber Massengesteine regelmässig mit Sedimentgesteinen wechseln. Diese Partien der Massengesteine nennt man Decken, es sind dies alte Lavaströme, vor und nach deren Erguss eine Sedimentation an der betreffenden Stelle erfolgte. Eine charakteristische Form des Auftretens von Massengesteinen ist die Bergkuppe[1]).

---

1) Um den Aufbau der Erdoberfläche aus verschiedenen Gesteinen, sowie deren Lagerungsverhältnisse darzustellen, bedient sich die Geologie zweier Wege. Einmal stellt sie die oberflächliche Verbreitung der Gesteine auf Karten dar, dann aber lehrt sie deren Aufeinanderfolge durch Profile kennen. Profile sind ideale Durchschnitte eines Theiles der Erdoberfläche, in welchen die einzelnen Gesteine in ihren nachgewiesenen oder muthmaasslichen Lagerungsverhältnissen dargestellt sind. Beide, Karten und Profile vereint, geben erst ein Bild von dem geologischen Bau eines Landes und somit auch die sichere Grundlage für irgend welche Bodenkunde. Nur möge man nie vergessen, dass die geologischen Karten mehr denn blosse Gesteinskarten sind, und vor Allem das Wissen über die geologischen Verhältnisse eines Gebietes darstellen sollen. Geologische Karten sind daher weit davon entfernt, eine Darstellung der agronomisch oder hygienisch wichtigen Daten über die Bodenverhältnisse eines Landes zu geben. Dies gilt besonders von den geologischen Uebersichtskarten, auf welchen der Regel nach nur die einzelnen geologischen Systeme nebst ihren Unterabtheilungen wiedergegeben sind, ohne Rücksicht auf deren petrographische Zusammensetzung und Ausbildung, und welche den Oberflächenbildungen nur geringe Aufmerksamkeit schenken. So unbestreitbarer Werth solchen Karten hinsichtlich geologischer Studien zukommt, so gering ist ihre Bedeutung für die Bodenkunde, auf welcher das hygienische Interesse fusst. Beträchtlicher Werth jedoch kommt für diese Ziele den geologischen Specialkarten zu, wie solche neuerdings von den meisten civilisirten Ländern in sehr grossem Maassstabe aufgenommen werden. Solche Karten geben nicht bloss geologische Complexe wieder, sondern auch die einzelnen Gesteine, und zeigen selbst deren Nuancirung an; die neuen geologischen Specialkarten von Preussen und Sachsen berücksichtigen auch die Oberflächenformationen in eingehender Weise, ja verzeichnen selbst gerutschte und verschwemmte Ablagerungen. Allein man möge sich auch von diesen Karten in bodenkundlicher Beziehung nicht zu viel versprechen. Es möge einerseits im Auge behalten werden, dass selbst die feinst unterschiedenen Gesteinsarten Variationen

ZWEITES CAPITEL.

Vertheilung des Wassers im Boden.

Das Wasser im Boden spielt schon vermöge der ausserordentlichen Massenhaftigkeit, in welcher es auftritt, eine wesentliche Rolle.

Delesse [1]) hat den Versuch angestellt, diese Quantitäten zu berechnen, indem er all das unterirdische Wasser, welches die Felsen, Gesteine imbibirt, indem es durch Spalten, mikroskopische Hohlräume und Poren eindringt, berücksichtigt. Nach seiner Auffassung muss sich das unter-

---

in ihrer Zusammensetzung fähig sind, dass ein und dasselbe Granitmassiv, ein und dieselbe Porphyrdecke sowohl ihre physikalische Beschaffenheit, als auch ihre chemische Mischung ändert. So begegnet man häufig stark zerklüftetem Porphyr neben sehr compactem, ein und derselbe Granit ist bald kalireich, bald kaliarm. Besonders aber sind selbst die genauesten geologischen Karten nicht im Stande, jenen stellenweise fast verwirrenden Wechsel in der Beschaffenheit der Schichtgesteine mit absoluter Genauigkeit wiederzugeben. Es sei hier vor Allem auf das Auftreten und Wiederverschwinden von undurchlässigen Schichten in durchlässigen Complexen hingewiesen. So sieht man in den Sandlagern des südbaierischen Tertiärs häufig Mergelschichten, welche local als Quellensammler auftreten, und welche einzeln zu verfolgen unmöglich ist. Ferner können selbst geologische Specialkarten nicht den verschiedenen Grad der Verwitterung wiedergeben, welchen ein und dasselbe Gestein in den verschiedenen Punkten seines Auftretens zeigt. Bei alledem möge jedoch im Auge behalten werden, dass eine vernünftige Betrachtung geologischer Specialkarten, welche obige Punkte berücksichtigen, schätzenswerthe Winke hinsichtlich der Bodenbildung gewährt. Es gilt die Karten richtig zu lesen, und zu dem Ende ist zunächst unbedingt erforderlich, den Terrainverhältnissen eingehende Beachtung zu widmen. Man kann dann gewöhnlich die Schichtenfolge unmittelbar aus der Karte entnehmen. Sehr bedauerlich ist daher, dass einige geologische Kartenwerke, wie die geologische Specialkarte von Baiern (1 : 100 000) und die von Schweden (1 : 50 000), keine Terraindarstellung gewähren. Es drückt sich in der räumlichen Lage eines Gesteins, sei es als isolirter Gipfel, sei es als Thalgehänge, häufig schon der Zustand seiner Beschaffenheit aus, sowie sein Verhältniss zu der unterirdischen Wassercirculation. Weiter geben die Begleitworte zu den Karten gewöhnlich Aufschluss über locale Verhältnisse, und die den sächsischen Specialkarten beigefügten Profile tragen in ganz besonderem Maasse zur Erhöhung des Verständnisses bei. So kann denn gesagt werden, dass, wenngleich die geologischen Specialkarten auch nicht unmittelbar ein Bild der Bodenbeschaffenheit eines Distriktes geben, wie für gewisse hygienische Fragen nöthig ist, sie doch mittelbar die wichtigsten Anhaltspunkte zu einer genauen Bodenkenntniss gewähren. Alles dies gilt jedoch nur von solchen Karten, deren Maassstab 1 : 25 000 (Preussen, Thüringen, Sachsen; England z. Th.) bis höchstens 1 : 50 000 ist (Baden, Württemberg, Schweden). Karten im Maassstabe von 1 : 100 000 haben schon eine geringere Verwerthbarkeit.

1) Delesse, Recherches sur l'eau dans l'interieur de la terre. Bulletin de la Société géologique de France. 1861/62.

irdische Wasser in der ganzen Schicht der Erdrinde finden, deren Temperatur unter 100° C. ist und, eine Temperaturerhöhung des Erdinnern von 1° für 33 Meter Tiefe vorausgesetzt, bis zu 3300 Meter Tiefe. Da aber die Dampfbildung vom Drucke abhängt und dieser ebenfalls mit der Tiefe zunimmt, so kann man berechnen, dass ungefähr bis zu 18500 Meter Tiefe und bis zu einer Temperatur von ungefähr 600° flüssiges Wasser vorhanden sein wird. Da nun die die Oberfläche zusammensetzenden Gesteine geschichtet und im Allgemeinen recht porös oder mindestens thonhaltig sind, alles Eigenschaften, die eine Imbibition mit Wasser ermöglichen, so lässt sich annehmen, dass das unterirdische Wasser einen bedeutenden Theil unserer Erdkugel ausmacht. Bei der Annahme, dass die Erdrinde auf eine Dicke vom 1,850 Myr. von Wasser durchsetzt sei, dass ihre Dichte 2,5 betrage und das Imbibitionswasser 5 %, dass ferner die Erde eine Kugel sei von Radius 636 987 Myr., betrüge das Volumen des unterirdischen Wassers $\frac{4}{3}$ 3,14 $(\overline{636\,987}^3 - \overline{635\,137}^3$ Myr.) $2{,}50 \times 0{,}05 = 1\,175\,089$ Cubikmyriameter, ungefähr $\frac{1}{921}$ des Rauminhalts der Erdkugel. Nach ELIE DE BEAUMONT beträgt das oberflächliche Wasser der Erdkugel 1 309 000 Cubikmyriameter oder $\frac{1}{827}$ der Erdkugel; es wäre also das Imbibitionswasser der Menge nach ungefähr gleich dem Oberflächenwasser; DELESSE nimmt an, dass die für das unterirdische Wasser gefundenen Zahlen jedenfalls viel zu gering gegriffen sind, doch ist vielleicht das Umgekehrte der Fall, indem es fraglich ist, ob die Annahme von 5 % Imbibitionswasser nicht eine zu hohe Summe repräsentire; ausserdem muss auch in Betracht gezogen werden, dass von der Dicke der mit Wasser erfüllten Erdrinde die Zahl für die mittlere Meerestiefe abgezogen werden müsste. Aber selbst eine namhafte Reduction lässt uns doch diese Mengen als ausserordentlich gross erscheinen.

Das Wasser, das von der Oberfläche her in den Boden einsickert, kann in demselben in verschiedenen Formen auftreten. Bald findet es sich nur fein vertheilt in geringer Menge, in den Poren der Gesteine, selbst der dichtesten, als Bergfeuchtigkeit oder Bergschweiss; oder aber das Wasser, soweit es sich um einen Boden handelt, wie er als Alluvial- und Diluvialboden einen grossen Theil unserer Oberfläche bedeckt, dringt in grosser Menge in den Boden ein und fliesst, den Gesetzen der Schwere und der capillaren Leitung folgend, in grössere Tiefen ab, so lange es im Ueberschuss sich befindet über jene Wassermengen, die zur Sättigung der capillaren Wassercapacität genügen und die zum Ersatz des aus dem Boden wieder verdunstenden Wassers nöthig sind. Ist die poröse Bodenschichte eine sehr mächtige und die Verdunstung ebenfalls eine grosse, so wird sich ein Zustand capillarer Sättigung in wechselnder Tiefe ausbilden, der Boden wird „feucht“ erscheinen; es kommt aber zu keiner grösseren, zusammenhängenden Wasseranhäufung; in einem solchen Boden können unter gewöhnlichen Verhältnissen keine Brunnen erbohrt werden.

Aehnliche Erscheinungen treten dann bei Bodenformationen auf, die an sich in ihren Bruchstücken nicht oder nicht leicht durchlässig sind für Wasser, die aber durch ihre splittrige und rissige Beschaffenheit, die im Laufe der Zeit durch Auslaugung noch erhöht werden kann, den Abfluss des Wassers ausserordentlich befördern und so eine grosse Trockenheit des Bodens bedingen. Solche Beispiele liefert die aus ganz flach geschichteten, festen Kalksteinen aufgebaute Hochfläche der schwäbischen Alp und viele andere Kalk- oder Dolomitgebiete, wie die des Karst, der Normandie, eines Theiles des französischen Jura.

Ein anderes Bild wird jedoch geboten, wenn sich unterhalb eines solchen porösen Bodens, in nicht allzu grosser Tiefe eine Bodenschicht ausbreitet, die für Wasser undurchgängig ist. In diesem Falle ist dem in den Boden einsinkenden überschüssigen Wasser ein Halt geboten an dieser impermeablen Unterlage, auf welcher es sich nun ansammeln und bei zunehmender Menge in dem porösen Boden zu einer grösseren Höhe aufsteigen muss, wenn nicht die Neigung der undurchlässigen Schichten dafür sorgt, dass dieses unterirdische Wasser nach tiefer gelegenen Stellen hin abfliesst. Diese Wasseransammlung nun, die als Unterlage eine undurchlässige Bodenschicht besitzt und vollständig alle Bodenporen, nicht blos die capillaren, ausfüllt, nennt man Grundwasser, Horizontalwasser. Es bleibt entweder in seiner ganzen Ausdehnung von den obersten Bodenschichten bedeckt, bis es sich endlich in einen Wasserlauf, den tiefsten Einschnitt des jeweiligen Drainagegebiets, ergiesst, oder aber die untere undurchlässige, dem Grundwasser als Grundlage dienende Schicht tritt zu Tage, z. B. in einem Einschnitt an einem Abhange, und das Grundwasser kommt in Folge dessen in Form einer Quelle zum Vorschein. Hiermit wird dem Wesen und der Entstehungsweise nach die Identität für Quell- und Grundwasser beansprucht; der Unterschied liegt nur in dem Zutagetreten. Es hat diese Anschauung schon Daubrée[1]) vertreten. Er betont, dass an vielen Orten unmittelbar unter der Dammerde sich oberflächliche, lockere Ablagerungen, alluviale Bildungen oder wenig zusammenhängende Trümmer von Felsen von derselben Natur, wie der Untergrund, finden, in welche der Regen nach erfolgter Infiltration der Ackerkrume eindringt, ohne bei der mangelnden oder nur geringen Durchlässigkeit des Untergrundes tiefer herabzusinken. Dieses Wasser könne man nun in Form

---

1) Daubrée, Sur l'existence et l'origine d'eaux souterraines, qui se meuvent souvent à une faible profondeur. Comptes rendus. 1849. T. XXVIII. p. 444.

von Quellen austreten lassen, indem man senkrecht auf die unterirdische Strömungsrichtung einen queren Graben führt, der das Wasser meist schon in einer Tiefe von 4—5 Metern sammelt.

Darcy [1]) schildert dieses Zustandekommen der Quellen aus dem Grundwasser folgendermaassen: Streicht die undurchlässige Schicht in einer bemerkbaren Tiefe unter dem Thal und auch im Thalgrunde, von der durchlässigen bedeckt, so bildet sich dort eine Art mit Wasser gefüllten Behälters, dessen Niveau mit der Jahreszeit sinkt und steigt. Die Entleerung dieses Behälters, der einer oder mehreren Quellen zum Ursprunge dient, erfolgt im Allgemeinen am tiefsten Punkte, im Thalgrunde, und gleichwohl können neue, allerdings weniger starke und weniger constante Quellen an den Flanken der Abhänge entstehen, wenn reichliche Niederschläge das Niveau des unterirdischen Wasserbehälters erheben.

I. Quellen.

Entsprechend der einheitlichen Auffassung von Quellen und Grundwasser sei bezüglich der Entstehung der Quellen, ihres Zusammenhanges mit den Niederschlägen auf die Erörterungen beim Grundwasser verwiesen und hier nur die Erscheinungsweise, das Zutagetreten derselben behandelt [2]).

Wir unterscheiden nach Richthofen

a) wahre Grundwasserquellen, wo eine wasserundurchlassende, unter lockeren Aufschüttungsmassen ruhende Schicht gegen ihre Einfallsrichtung von einem Gehänge, einem Thalrand oder einem Einschnitt irgend welcher Art durchschnitten wird,

b) Oberschichtquellen, wo an Stelle des permeablen Bodens zerklüftetes Gestein getreten ist und sich dann das Wasser in wenigen Kanälen sammelt und in Gestalt einzelner starker Quellen zum Vorschein kommt (Kalkalpen),

c) Tiefenschichtquellen, als welche alle Quellen bezeichnet werden können, welche dem unter der obersten undurchlassenden Schichte circulirenden Wasser ihre Entstehung verdanken, und so Verhältnissen entsprechen, welche die Anlage artesischer Brunnen voraussetzt. Das Wasser, das sich hier unter der impermeablen Decke unter einem

---

1) Darcy, Les fontaines publiques de Dijon. 1856.

2) Vgl. Richthofen, Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886. S. 122—128. — A. Heim, Die Quellen. Basel 1885. — W. Topley, Water supply in its influence on the distribution of the population. International Health exhibition. London 1884. Conference on 24. Juli 1884.

hydrostatischen Druck befindet, wird dort, wo die wasserführende Schicht zu Tage tritt, in Form mächtiger Quellen aufsteigen.

In Gebirgen, wo die Erdschichten nicht normal, sondern schief oder senkrecht aufgestellt, gefaltet, selbst gebrochen sind und jeder grössere Schichtencomplex durchlassende und undurchlassende Schichten enthält, weist die Schichtrichtung dem Wasser den Weg.

Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19.



Ein Thal mit isoklinen Schichten (Fig. 16) wird eine quellenreiche (*a*) und eine quellenarme (*b*) Seite haben. Ein in antiklinen Schichten (Fig. 17) eingesenktes Thal ist quellenarm. In einem Thal mit synkliner Schichtenstellung (Fig. 18) können beide Gehänge quellenreich sein, wenn die Neigung der Schichten geringer ist als diejenige der Gehänge (Fig. 18), quellenarm, wenn sie die letztere übertrifft (Fig. 19). (Richthofen.)

II. Grundwasser.

Dasjenige Wasser, welches in einem durchlässigen Boden nach abwärts fliesst, und dort, auf einer undurchlässigen Unterlage sich ansammelnd, sämmtliche Hohlräume des Bodens erfüllt, nennen wir Grundwasser.

Pettenkofer [1]) versteht unter Grundwasser „jene unterirdische, im porösen Erdreiche befindliche, bald mehr, bald weniger hohe Wasserschicht, welche uns durch das Graben von Brunnen zugänglich gemacht wird. Die Grundwässer unserer Bodenflächen können als unterirdische Teiche und Flüsse betrachtet werden, welche mit Alluvionen ausgefüllt und bald mehr, bald minder hoch überschüttet sind, so dass wir über und auf dem Spiegel derselben wohnen und die Erde bebauen. Wenn wir einen Brunnen anlegen, so graben wir eine Oeffnung durch die Bedeckung dieses unterirdischen Wassers, heben, am Wasserspiegel angelangt, noch einige Fuss tiefer das Material aus, womit das Becken ausgeschüttet ist, in welcher Höhlung sich dann jenes Wasser sammelt, welches wir mit Pumpen oder Schöpfeimern an die Oberfläche fördern".

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreich Bayern. München 1857.

Pettenkofer hat dem Grundwasser insofern eine grosse hygienische Bedeutung vindicirt, als er dasselbe als Maassstab für die Durchfeuchtung der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten aufgestellt hat, als er in den Schwankungen des Grundwassers den Ausdruck fand für die Schwankungen dieser Bodenfeuchtigkeit, und zwar einen viel zuverlässigeren, als ihn die Elemente der Luftfeuchtigkeit direct zum Ausdruck bringen (vergl. S. 314 ff.).

1. *Horizontale Ausbreitung des Grundwassers.*

Das im Boden niedersinkende Wasser wird auf der undurchlässigen Schicht eine horizontale Ausbreitung finden. Dieselbe ist von dem Niveau, der Configuration, dem Relief dieser Schicht abhängig, welche Verhältnisse vielfach ganz andere sind als die der Bodenoberfläche, wenn auch beide in ihren allgemeinen Beziehungen, mit Rücksicht auf ihre Abdachungen, auf die Thalbildung mit einander in Uebereinstimmung sich befinden können.

Wir geben als Beispiel eine Darstellung dieser Verhältnisse in München, wo der schon auf S. 243 erwähnte einfache geologische Bau die Auffassung ausserordentlich erleichtert.

München [1]) (Fig. 20) liegt auf einer breiten Hochfläche von dreiseitiger Gestalt, welche sich im Süden zwischen die Gebiete des alten Inn- und Isargletschers drängt und sich nach Norden zwischen Freising und Landshut in dem Isarthale fortsetzt. Im Gegensatz zu der nördlich liegenden Tertiärhügellandschaft und den im Süden entwickelten Moränenbezirken ist das Niveau dieser Hochfläche ein ungemein gleichförmiges, dieselbe zeigt keinerlei Unregelmässigkeiten der Bodengestaltung, sondern dacht sich gleichförmig von Süd nach Nord ab. Dieselbe wird der Länge nach von der Isar durchströmt. Dieser Fluss schneidet in den südlichen Theil der Hochfläche 50—70 Meter tief in einem engen Thale ein; in dem Maasse jedoch, als man nordwärts geht, nimmt die Tiefe dieses Thales ab. Bei Grosshesselohe, etwa 10 Km. südlich München, entwickeln sich an den Gehängen des Isarthales breite Terrassen, welche nach Norden zu allmählich in einander verfliessen und schliesslich mit der Hochfläche und der Thalsohle in eine Fläche verschmelzen. Etwa 10 Km. unterhalb München ist kein Isarthal mehr wahrnehmbar. Der Fluss fliesst auf der Hochfläche. Die Stadt München nun liegt grösstentheils auf einer Terrasse des Isarthales (Fig. 20 *B*), welche bei Grosshesselohe ihren Ursprung nimmt, frühzeitig schon hat sich die Stadt jedoch auch über den Isarthalboden selbst (*C*) ausgebreitet und in neuerer Zeit auf die Hochfläche (*D* und *A*) erstreckt.

---

1) Vergl. Soyka, Untersuchungen zur Canalisation. Die Mortalitätsverhältnisse Münchens. München 1885.

An dem Profil (Fig. 20), einem von West nach Ost gezogenen Durchschnitt, sehen wir, wie die Hochfläche *AA* einen tieferen, der Isar entsprechenden und an dieselbe sich anschliessenden Einschnitt *C* erlitten, der von Nord nach Süd verläuft, das sog. Isarthal, welches auf der einen, östlichen Seite direct zur Hochfläche (ca. 20 Meter hoch) ansteigt, auf der anderen, westlichen Seite jedoch vermittels einer Abstufung Terrasse *B*, die Höhe erklimmt. Weiter gegen Osten erblicken wir schliesslich eine Anschwellung *D*, eine wahre Auflagerung. Der Abfall der Hochfläche gegen die Isar auf der östlichen Seite beträgt ca. 20 Meter. Der Abfall der Hochfläche (westlich) zur Terrasse beträgt 10—5 Meter, gegen Norden zu abnehmend; von der Terrasse gegen den Thalboden ungefähr ebensoviel.

Im Einklange mit dem Mangel orographischer Gliederung zeigt die grosse Münchener Hochfläche einen sehr einfachen geologischen Bau. Mögen auch in der Tiefe noch eine Reihe älterer Gesteine ruhen, so ist der Flinz (1 in Fig. 20) die nachweisliche Unterlage der Hochfläche. Er tritt im Bereiche derselben nur da zu Tage, wo Thäler tief einschneiden, und ist ein treuer Begleiter der Isar, aus deren Bette und Ufer er bei niedrigem Wasserstande an mehreren Punkten ansteht. Ueber dem Flinz, einem grauen, sandigen oder glimmerreichen, in tieferen Lagen mergeligen, zum Obermiocän gehörigen Thon von mehreren 100 Metern Mächtigkeit, lagert ein alpiner Diluvialkies (Deckenschotter, 2 in

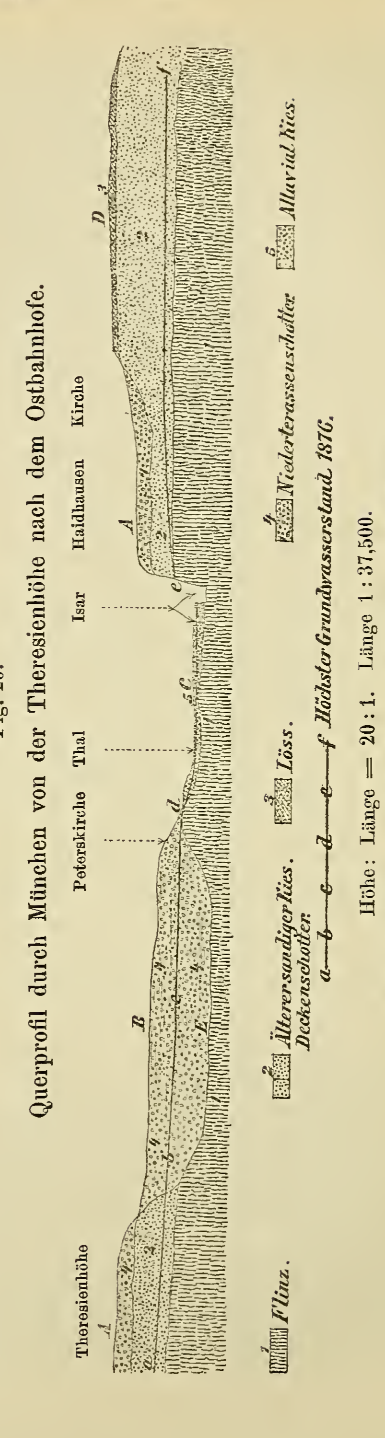


Fig. 20. Querprofil durch München von der Theresienhöhe nach dem Ostbahnhofe.

Fig. 20), welcher häufig zu einer Nagelfluh verkittet, bei München aber lose ist und sich durch eine namhafte Beimengung von Sand auszeichnet. Dieser sandige Kies wird nun stellenweise überdeckt entweder von Löss, einem hier local kalkfreien oder auch sandigen, an organischen Bestandtheilen reichen, lockeren Lehm, welcher dann gewöhnlich flache Bodenauflagerungen bildend hervorragt (3 in Fig. 20 bei *D*), oder aber von einem im Mittel 6—8 Meter mächtigen, sehr groben alpinen Kies (Niederterrassenschotter, 4 in Fig. 20), welcher meist ziemlich arm an sandigen Partikeln ist und sich gegenüber dem unter ihm auftretenden Kies durch sein lockeres Gefüge auszeichnet.

Wo an dem nördlichen Zipfel der Hochfläche die Flüsse in dieselbe nicht oder nicht tief genug einschneiden und deswegen, d. h. in Folge mangelnder Drainage, das Gebiet fortwährend durchfeuchten, werden die erwähnten Gebilde noch durch mächtige Moorbildungen verhüllt. Wo hingegen im Süden die Hochfläche von Thälern ziemlich tief durchfurcht wird, sind die erwähnten Ablagerungen an den Thalgehängen bis zum Flinz herab blossgelegt und werden wie auf der Höhe der Terrassen, so am Thalboden, durch die jüngeren Anschwemmungen des Terrassen- und Alluvialschotters überlagert.

Da alle jene Gebilde besonderen Zeitabschnitten in der Bildung der Gegend entsprechen und keine continuirliche Ablagerung darstellen, so ist einleuchtend, dass sie nicht völlig regelmässig über einander geschichtet sind. Diese gegenseitigen Grenzen verlaufen unregelmässig und können nur durch sorgfältige Untersuchungen genauer fixirt werden.

So interessant nun aber auch in geologischer Beziehung diese Grenzen sein mögen, so hat doch in hygienischer Hinsicht nur eine derselben Bedeutung. Es ist die Grenze des Flinzes gegen die jüngeren Schichten, da ihm die Rolle der für Wasser undurchlässigen Schicht zukommt. Seine Grenze ist von wesentlichstem Einfluss auf den Grundwasserstand.

Das vorliegende Profil Fig. 20 zeigt nun, dass der Flinz unterhalb Münchens, abgesehen von dem durch die Isar bewirkten Einschnitt, unterhalb der Terrasse und westlich vom Isarthal selbst ein Thal oder mindestens eine Mulde *E* bildet (eine analoge, minder tiefe Mulde befindet sich unterhalb Wiens, innere Stadt, vergl. Cap. III), die durch einen unterirdischen, von Südost nach Nordwest aufsteigenden Flinzhügel von der dem Isarthal entsprechenden Depression des Flinzes getrennt ist. Leider ist die Zahl der ausgeführten Bohrungen nicht gross genug, um entscheiden zu lassen, ob dieses Verhältniss sich über grössere subterrane Strecken ausdehnt, doch ist zu vermuthen, dass in diesem, dem Isarthal parallelen Flinzthal bereits vor Ablagerung des älteren sandigen Schotters ein Wasserlauf existirt hat.

Die Resultate von 64 Bohrungen zeigen aber ferner, dass das Relief des Wasserbodens im Detail fast ausser aller Beziehung steht mit der jetzigen Oberflächengestaltung. Die im Allgemeinen mit der

Oberflächenabdachung übereinstimmende sehr flache und sanfte Abdachung des Flinzes von Süd nach Nord, resp. SSW nach NNO, zeigt besonders im Westen ausserordentlich zahlreiche, rückenartige Erhöhungen, Mulden, teichartige Eintiefungen und inselartige Erhebungen, hervorgerufen durch ältere Strömungen der Diluvialzeit, die den Tertiärboden ausgenagt und ihm diese unregelmässige Form aufgedrückt haben. Hierdurch muss das Niveau, die horizontale Ausbreitung, aber auch die Richtung und Geschwindigkeit des Grundwasserstromes im Allgemeinen und örtlich wesentlich beeinflusst werden. Die Abdachung des Wasserbodens im Stadtgebiete beträgt auch nur 10—11 Meter gegen 15 Meter des Oberflächenabfalls.

Ein recht charakteristisches Beispiel derartiger localer Verschiedenheiten zwischen dem Relief der undurchlässigen Schicht und dem Oberflächenrelief in seinem Einfluss auf das Grundwasser bietet uns folgendes Bild (Fig. 21), das in einem in der Richtung Nordwest-Südost aufgenommenen Profil die Höhenlage der wasserundurchlassenden tertiären Schicht und des Grundwasserstandes darstellt. Der Zusammenhang, der in dem Abfall, in der Abflachung zwischen undurchlässiger Tertiärschicht und der oberflächlichen Kiesschicht besteht, findet zwar auch hier seinen Ausdruck, die Abdachung erfolgt hier gegen das Isarbett, aber nicht gleichmässig. Im Nordwesten fällt die Tertiärschicht steiler ab, im Südost jedoch steigt sie im Gegensatz zur Oberfläche sogar etwas an.

Noch wesentlichere Verschiedenheiten bieten die Details. Insbesondere macht sich eine mächtige hügelförmige Erhebung des Flinzes geltend, die sich auf drei Seiten in Form eines abgestumpften Kegels zeigt, aber an der Oberfläche durch keinerlei Zeichen sich verräth, trotzdem sie eine Höhe von ca. 10 Metern erreicht. Sie ist eine der höchsten Erhebungen eines weiteren Flinzrückens, der nach Norden mit einer Abdachung von nur ungefähr 4 Metern, nach Osten noch schwächer abfällt.

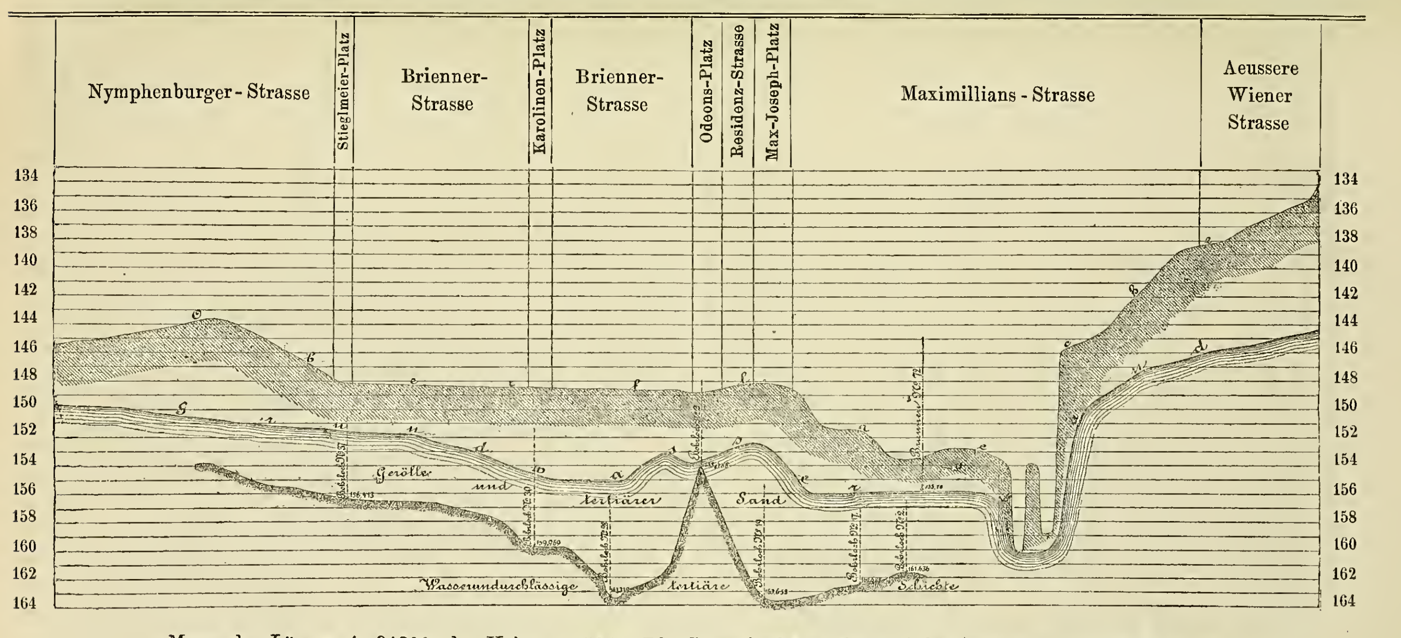
Dieser Höhenzug bedingt eine deutliche Verzögerung im Verlauf des Grundwassers, und bei etwas tieferem Stande des Grundwassers zeigt das auf der Höhe des Kegels niedergebrachte Bohrloch kein Wasser; dieses bespült nur in ergiebiger Weise seinen Mantelsaum [1]).

In Folge solcher Bodengestaltungen müssen unmittelbar benachbarte Stellen ein ganz verschiedenes Verhalten des Grundwassers

1) Gümbel und Niedermeyer, Die Bewegungen des Grundwassers unter dem Boden der Stadt München, in den Berichten über die Verhandlungen und Arbeiten der vom Stadtmagistrat in München niedergesetzten Commission für Wasserversorgung, Canalisation und Abfuhr.

Fig. 21.

Profile über die Höhenlage der wasserundurchlassenden tertiären Schicht und den Grundwasserstand Mitte August 1875. Richtung Nordwest-Südost.



Maass der Längen 1 : 31200, der Höhen 1 : 534. Die Coten beziehen sich auf den Münchener Stadthorizont.

zeigen, unmittelbar auf der Spitze des Hügels eine sehr geringe Schicht von Grundwasser in der Höhe von ca. 0,4 Meter, die wohl bei irgend welchen erheblicheren Schwankungen nach abwärts vollständig verschwinden kann und unmittelbar daneben, ca. 250 Meter entfernt, einen sehr mächtigen, mit Grundwasser erfüllten Kessel, in dem dasselbe eine Höhe von über 10,5 Metern erreicht. Aber auch die Oberfläche, das Niveau des Grundwassers, zeigt eine durch die Stauung bedingte Erhebung, die sich bis zu 3,5 Meter über das benachbarte Niveau erhebt. Die Folge davon ist, dass auf einer Strecke von ca. 650 Metern der Grundwasserstand in seiner Entfernung von der Oberfläche um 2,2 Meter schwankt (Bohrloch 28 — 6,4 Meter, Bohrloch 3 — 4,7 Meter, Bohrloch 19 — 4,2 Meter), während die Niveaudifferenzen der Oberfläche hier kaum 0,5 Meter betragen. Ausserdem müssen in derartigen künstlichen unterirdischen Kesseln Stagnationen, Veränderungen der Strömungsrichtung eintreten, deren Beschaffenheit, aber auch Bedeutung freilich noch nicht genügend erkannt ist.

Aehnliche Verhältnisse sind auch bezüglich des wasserdichten Untergrundes, des Tegels in Wien, der wasserdichten Lehm- und Thonablagerungen Berlins und wohl noch an vielen anderen Orten nachgewiesen worden.

Um diese Verhältnisse kennen zu lernen, müssen zahlreiche Bohrversuche durch die oberflächlichen porösen Schichten bis zur ersten undurchlässigen Schicht, dem Untergrunde, angestellt werden, und je grösser die Zahl dieser ist, desto vollständiger wird das Bild, das man auf diese Weise vom Untergrunde erhält. Um nun zugleich auch das Verhältniss der wasserdichten Unterlage zum Stande des unterirdischen Wassers nach seinen localen Schwankungen und dem Grade der Abhängigkeit dieses Standes von dem Relief des Untergrundes richtig zu bemessen, muss gleichfalls und auf längere Zeitdauer das Niveau des so zugänglich gewordenen Grundwassers beobachtet werden.

Indem man auf einer die Oberfläche darstellenden Karte die Punkte gleicher Höhe durch Curven verbindet, erhält man neben einander ein dreifaches System von Curven, welches Einem sofort an jeder Stelle der Karte Aufklärung gibt über das Niveau der Oberfläche des Grundwassers und der undurchlässigen Schicht. Wenn wir die Curven, die das Niveau der oberflächlichen Bodenschichten darstellen, Isohypsen nennen, so sind dagegen die Curven, welche die Reliefkarte des unterirdischen wasserdichten Untergrundes, des Wasserbodens, construiren helfen, als Katanhydroisohypsen, und endlich jene Curven, welche den gleichzeitig gleichen Grundwasserstand verbinden, als Hypohydrohypsen zu bezeichnen. Es ist

auf Grund dieser Curven leicht an jeder einzelnen Stelle der Abstand des Grundwasserspiegels, sowie des Wasserbodens von der Oberfläche und die Höhe der Grundwassersäule über dem Wasserboden zu finden.

2. *Die Bewegung des Grundwassers.*

Die Bewegung des Grundwassers im Boden ist eine doppelte. Einmal sinkt die Wassersäule in senkrechter Richtung von oben nach abwärts durch den permeablen Boden bis zu der undurchlässigen Schicht oder der auf derselben bereits angesammelten Wassermenge. Das andere Mal folgt es den Niveauänderungen dieser unterirdischen undurchlässigen Schicht und bewegt sich auf dieser nach abwärts, es ist ein Fliessen auf einer festen Unterlage, das entsprechend dem grossen Widerstande im Boden nur sehr langsam erfolgt. Es strömt auf diesem Wege schliesslich dem tiefsten Punkte zu, vorausgesetzt, dass nicht durch irgend einen Terraineinschnitt die undurchlässige Schicht blossgelegt wird, in welchem Falle dasselbe als Quelle (S. 249), als fliessendes Wasser zu Tage tritt, oder dass sich das Niveau der durchlässigen Schicht so weit erniedrigt, dass es zu oberflächlichen Wasseransammlungen kommt.

a) Strömungsrichtung des Grundwassers.

Da nun in einem grossen Entwässerungsgebiete die Flüsse schliesslich als diejenigen Wasserläufe anzusehen sind, welche die Drainage derselben bewirken, so wird auch das Grundwasser allmählich diesen zufliessen, wenn auch nicht direct, sondern in einer mehr parallelen Richtung mit seitlicher Ablenkung (vgl. S. 255). Dabei wird jedoch manche Unregelmässigkeit unterlaufen. Dort, wo sich tief ausgeschnittene Thäler befinden, der Fluss ein tiefes Bett sich gegraben hat und also das Grundwasser diesem tiefen Drainagepunkte zuströmen kann, dort wird sich die jeweilige Ebene gut entwässern. Wo jedoch das Flussthal sich derart verflacht, dass das Flussbett nur wenig tief in die Ebene einschneidet, dort wird unter Umständen das Grundwasser der Oberfläche sehr nahe, ja direct an die Oberfläche treten und zu Moos-Moorbildungen Veranlassung geben.

Die Bedingungen, unter denen ein richtiger Abfluss erfolgt, bestehen darin, dass das Flussbett wirklich bis an oder nahezu an der undurchlässigen Schicht gelegen ist und demgemäss eine im Verhältniss zur Grundwasserhöhe nur wenig mächtige Schicht lockeren Bodens sich über die undurchlässige Schicht erhebt. Als ein Aus-

1) I. Bericht der Commission u. s. w.

druck jenes Vorganges des Abfliessens des Grundwassers gegen die Flüsse zu ist das Ansteigen des Grundwasserniveaus vom Flusse aufwärts zu betrachten, wie es schon von PETTENKOFER[1]) für die Münchener Hochebene (Fig. 19), von DELESSE[2]) für Paris (vergl. auch die Profile von Wien und Paris in Cap. III) constatirt wurde.

Innerhalb Münchens[3]) erhob sich im Jahre 1876 der mittlere Grundwasserstand auf eine Entfernung von ca. 1500 Meter um ca. 7 Meter über das Flussniveau. In Zürich[4]) stand 1855 der Spiegel der Limat ca. 400 Fuss unterhalb des Niveaus des Grundwassers der hochgelegenen Vorstadt Fluntern. In Paris[2]) betrug 1854 das mittlere Gefälle des Grundwassers gegen die Seine 1 auf 1000 Meter, in den der Seine unmittelbar benachbarten Partien 1 auf 100 Meter, während das Gefälle der Seine selbst nur 1 auf 20000 beträgt. In Wien hat SUESS[5]) ein Ansteigen der Wasserstände in den Brunnen vom Flusse gegen den Rand des Hochbezirkes hin als ziemlich ausgemacht hingestellt. Höchst interessant sind ferner seine Untersuchungen über das Verhältniss des Grundwassers auf einer 13¼ Meilen langen Strecke zwischen Pest und Szolnok, dem Theile einer Niederung, die sich zwischen Donau und Theiss fern von jedem Gebirge und mitten zwischen zwei grossen Flüssen hinzieht[6]). Auf dieser Strecke stösst man etwa 45 Km. von der Donau und 55 Km. von der Theiss entfernt auf einen Punkt, an dem der Grundwasserspiegel 42 Meter über den Donauspiegel und 60 Meter über den Theissspiegel sich erhob. Nach beiden Seiten hin findet nun ein nahezu ununterbrochenes Herabsinken der Brunnenstände gegen den Spiegel der beiden genannten Ströme zu statt, die nun als natürliche Sammelkanäle, als Entwässerungsadern dieser Abdachung des Grundwassers aufzufassen sind, und wo uns der höchste Punkt jene Erhebung der undurchlässigen Schicht andeutet, die zur Bildung der unterirdischen Wasserscheide geführt hat.

Von besonderer Bedeutung ist es aber für die Entwässerung, für den Abfluss, wie schon auf S. 255 hervorgehoben, ob sich in der undurchlässigen Schicht Niveauverschiedenheiten befinden, die unter-

---

1) Hauptbericht.

2) DELESSE, Carte geologique souterraine de Paris et carte hydrologique de Paris.

3) II. Bericht der Commission u. s. w.

4) PETTENKOFER, 5 Fragen aus der Aetiologie der Cholera. Pappenheim's Monatsschrift für exacte Forschungen auf dem Gebiete der Sanitätspolizei. 1859.

5) E. SUESS, Der Boden von Wien.

6) E. SUESS, Ueber das Grundwasser der Donau. Oesterr. Revue. 1866.

irdische Thäler, Mulden u. dergl. repräsentiren. An solchen Stellen wird dem Abfluss, der Strömung des Grundwassers ein Hinderniss entgegen gesetzt, das Grundwasser muss hier stagniren, die Mulde wird sich mit dem zuströmenden Wasser bis zu ihrem Rande anfüllen und erst wenn auch der Rand überfluthet wird, dann erst kann das Grundwasser an der allgemeinen Bewegung theilnehmen. Diese Mulden haben aber besonders dann ihre Wichtigkeit, wenn sie als Entwässerungspunkte, als Recipienten eines oberhalb derselben gelegenen Territoriums auftreten; denn es ist wohl verständlich, dass dann auch in diesem sich eine mangelhafte Drainage etabliren wird, dafern nicht für genügenden Abfluss gesorgt wird.

Eine weitere Folge derartiger Bildungen wird sein, dass sich hier gewisse Schwankungen im Grundwasserstand, besonders solche, die durch gesteigerten Zufluss hervorgerufen sind, in viel rascherer und viel ausgiebigerer Weise etabliren werden als anderwo; denn dort, wo das Grundwasser in continuirlichem Strome über ein grosses Territorium hinwegfliesst, werden sich alle Veränderungen viel allmählicher, der Zeit nach einstellen, weil sie eben auch auf einen weit grösseren Raum sich vertheilen. Wo aber das Gebiet der Grundwasserströmung eine derartige Beschränkung erleidet, dort haben wir es dann förmlich mit einer isolirten und von dem grossen Strome mehr oder weniger unabhängigen Wassermasse zu thun, bei der wegen ihrer geringen Mächtigkeit alle Schwankungen rapider und intensiver sich geltend machen. Wir erfahren (Bd. II, Abth. III), dass in solchen Gegenden mit mangelhafter Entwässerung jene Krankheiten, die in Beziehung zum Boden stehen, ein eigenartiges Verhalten zeigen.

b) Die Intensität der Grundwasserströmung.

Die Strömung des Grundwassers im Boden ist eine langsame, entsprechend dem grossen Widerstande, auf den die Bewegung im Boden stösst. Die Gesetze über die Bewegung des Grundwassers haben ihre mathematische Entwickelung gefunden, indem man die bei der Filtration des Wassers durch poröse Materialien gewonnenen Erfahrungen auf sie zu übertragen suchte. Das von Darcy[1]) entwickelte Grundgesetz wird durch folgende Formel ausgedrückt. Bezeichnet V die Geschwindigkeit des Wassers, h die Druckhöhe, l den

1) Darcy, Les fontaines publiques de la ville de Dijon. 1856. — Darcy et Bazin, Recherches hydrauliques. 1865.

zurückgelegten Weg und k einen vom Material abhängigen Coefficienten, so lautet die Formel

$$V = k \frac{h}{l},$$

d. h. die Schnelligkeit, mit der das Grundwasser durch den Boden hindurchströmt, steht in geradem Verhältniss zur Höhe des Wassers, im umgekehrten zur Höhe der Bodenschicht. Ausführliche Begründung und weitere Entwickelung hat dieses Gesetz durch Bazin, Darcy, Dupuit, Ritter, Businesq, Smrecker, Thiem u. A. erfahren.

Auf dem von uns bereits in Betracht gezogenen Gebiete der bayerischen Hochebene hat Thiem[1]) auf indirectem Wege versucht, zu einem Resultat über die Schnelligkeit der Grundwasserströmung zu gelangen. Man weiss, dass durch die Entnahme von Wasser aus dem Boden der Spiegel des Grundwassers allmählich eine Depression erleiden muss, deren Grösse von der Grösse der Wasserentnahme, der Permeabilität des Bodens, sodann aber auch von der Menge des vorhandenen Grundwassers und der Geschwindigkeit, mit der sich die entnommene Wassermenge wieder ersetzt, abhängt. Entnimmt man einem Brunnen Wasser in einer bestimmten Constanz und setzt die auf diese Weise gebildete Depressionscurve fest, so lässt sich aus den Differenzen mehrerer Pumpversuche die Einwirkungsgrenze des Brunnens und mit ihr die natürliche Geschwindigkeit, bezogen auf das benetzte Profil, berechnen. Thiem machte diesen Versuch an einem Versuchsbrunnen von Gleisenthal, oberhalb Deisenhofen, ca. 14 Km. südöstlich von München, in einem Erosionsthal, dessen einschliessende Thalwände stark geneigt sind, so dass die an diesem Orte durchschnittlich 50 Meter breite Thalsohle sofort unvermittelt in die Hänge übergeht. Das Grundwasser ist in einer Höhe von 24—37 Metern von Kies und Nagelfluh überlagert, im Thalweg vermindert sich diese auf 3—5 Meter.

Fig. 22 zeigt die Situation im Querprofil von Ost nach West und gibt abermals einen Beleg dafür, dass die Oberfläche des Grundwassers unabhängig ist von der Configuration der Oberfläche, speciell von dem tiefen Thaleinschnitt hier; das Grundwasser bewegt sich von Südost nach Nordwest, mit stärkerem Gefälle in der Richtung von Süden nach Norden. Dieses betrug auf dieser Strecke in der Richtung von Süd nach Nord 1,45 Meter auf 871 Meter = 1,7 auf 1000 Meter, in der Richtung von Ost nach West 0,3 auf 920 Meter = 0,32 auf 1000 Meter.

Die Versuche, die gemacht wurden, bestanden der Hauptsache nach in der Beobachtung des Zusammenhanges zwischen Ergiebigkeit und Depression der Wasserspiegel in Brunnen und in den Beobachtungsrohren.

Aus dem Inhalt der benetzten Querprofile und aus dem Quantum des geförderten Wassers bestimmte Thiem die natürliche Geschwindigkeit des Grundwassers in diesem Profil und bezogen auf das-

1) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1880.

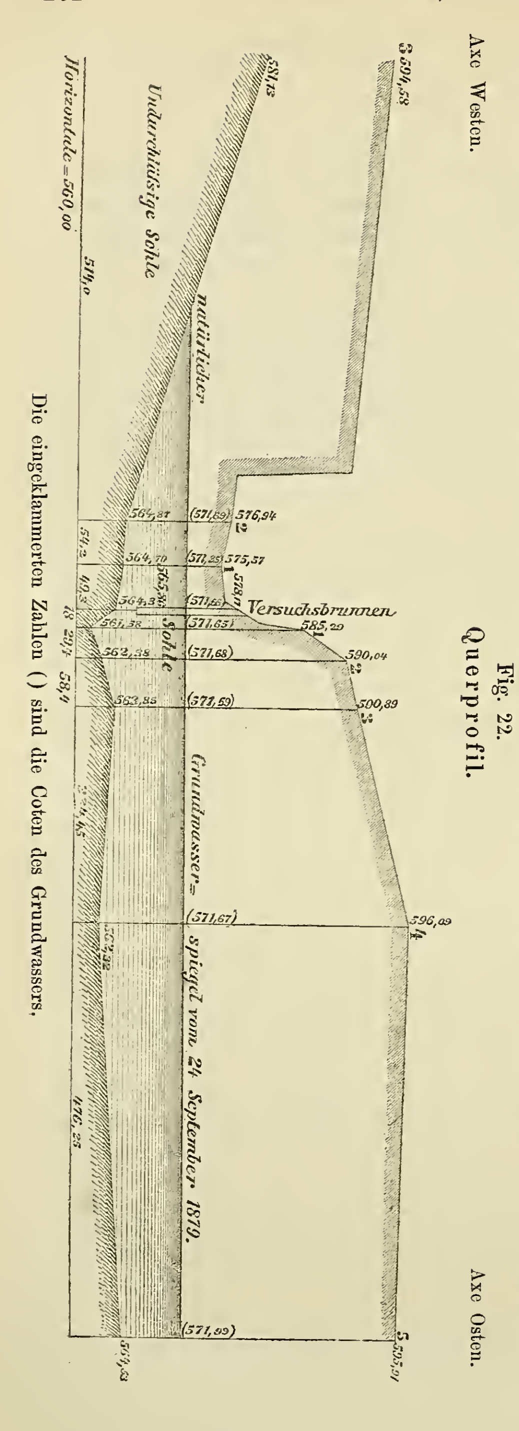


Fig. 22. Querprofil.

Die eingeklammerten Zahlen () sind die Coten des Grundwassers.

selbe fand er dieselbe zwischen 3,06—7,82 Metern in 24 Stunden oder 0,000035 bis 0,00009 Meter in der Secunde.

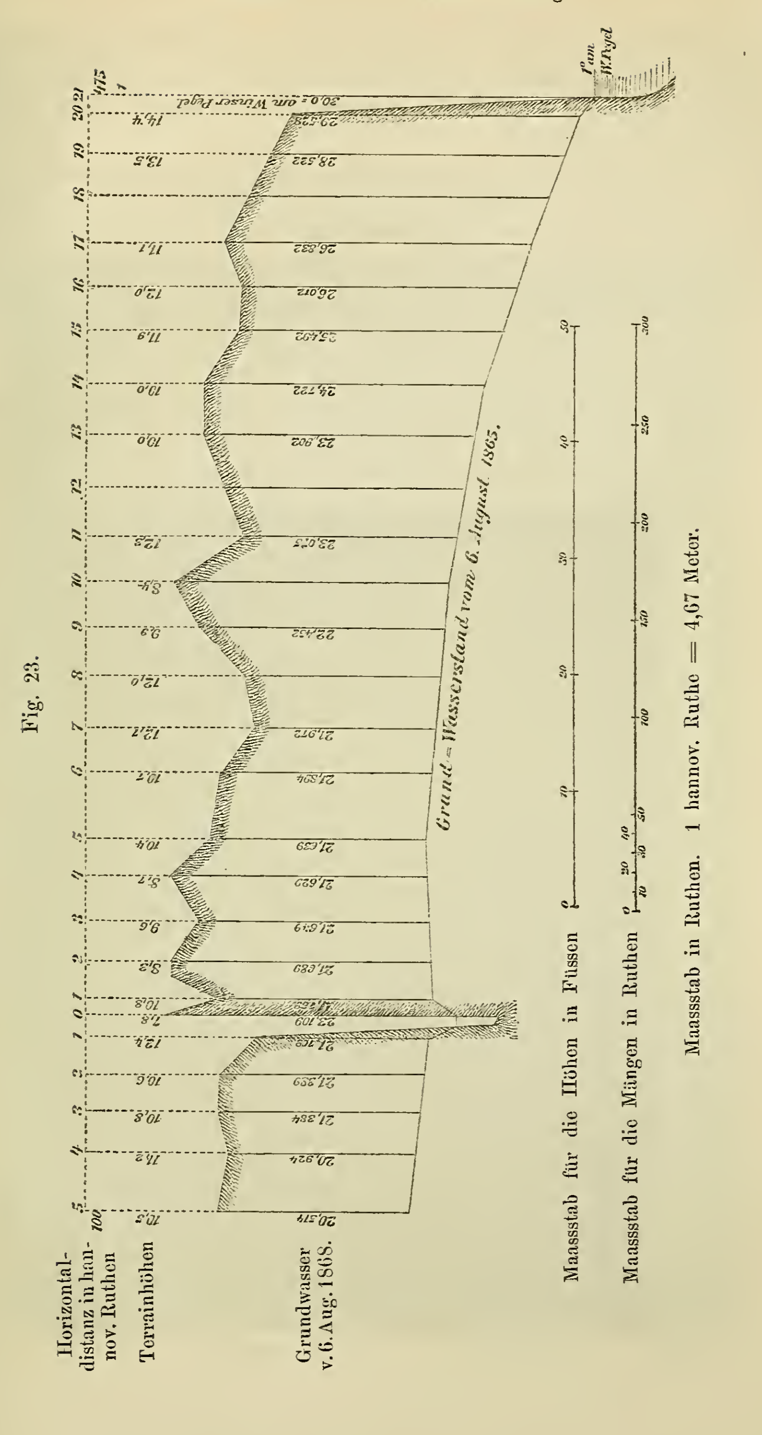
Die Schwankungen, die hier bei einem und demselben Versuchsobjecte sich finden, sind jedoch sehr gross, die Resultate gehen um das 2,5fache auseinander, und liegen diese Differenzen anscheinend in der Wahl der zum Versuche gewählten Strecken. Wenn wir in den Versuchen Thiem's die für die Geschwindigkeit gewonnenen Zahlen mit denen für die Länge des Weges gegebenen vergleichen, so finden wir, dass mit Zunahme dieser letzteren die ersteren abnehmen:

Länge, aus welcher die Geschwindigkeit berechnet wurde, in Metern:	22	27	63
Gefundene Geschwindigkeit, in Metern pro 24 Stunden:	7,82	7,00	3,06

Von einem anderen Gesichtspunkte aus hat Hess [1]) die Bewegung des Grundwassers zu verfolgen und zu bestimmen versucht; er benutzte hierzu jene Vorgänge,

1) Hess, Beobachtungen über das Grundwasser der norddeutschen Ebene. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins in Hannover. XVI. 1870.

Fig. 23.


Horizontal-distanz in hannov. Ruthen
Terrainhöhen
Grundwasser v. 6. Aug. 1868.
Grund-Wasserstand vom 6. August 1865.
Maassstab für die Höhen in Füssen
Maassstab für die Mängen in Ruthen
Maassstab in Ruthen. 1 hannov. Ruthe = 4,67 Meter.

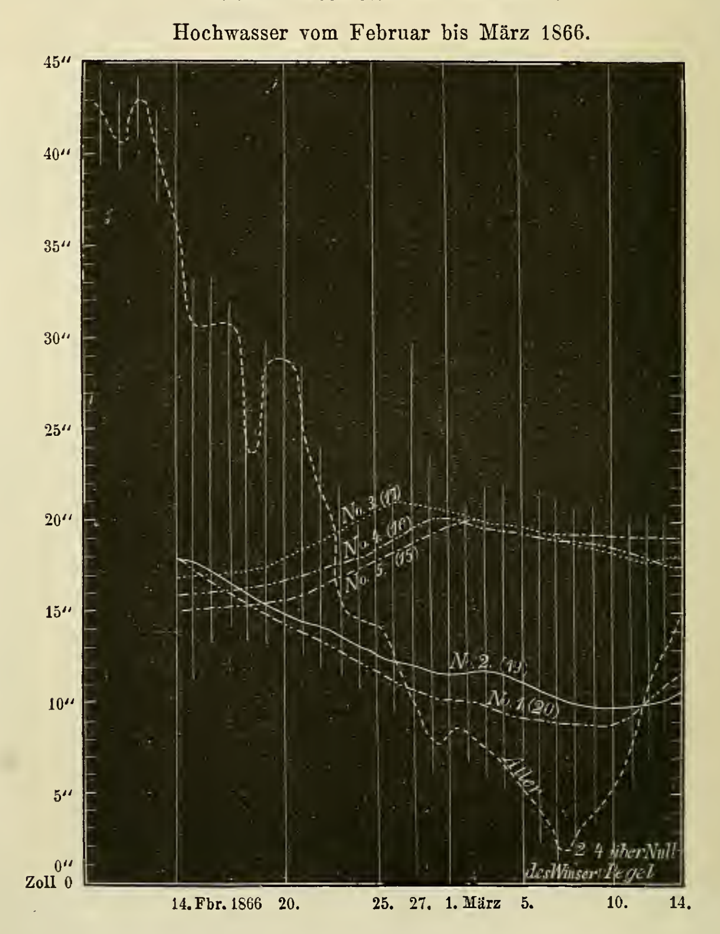
bei denen ein Anstauen des Grundwassers durch Hochwasser der Flüsse, ein Eindringen von Flusswasser ins Terrain erfolgt, und bestimmte die Zeit, um welche sich der Eintritt dieser Veränderungen im Boden verzögert.

Gegenstand seiner Beobachtungen waren die Hochwässer der Aller, die in den Monaten März und April 1866 auf einem in Fig. 23 im Profil dargestellten Terrain sich ereigneten und ihren Einfluss auf das Grundwasser ausübten. Die Beobachtungspunkte, an denen das Eindringen des Flusswassers der Zeit und Höhe nach beobachtet wurden, entsprechen den Nrn. 15, 16, 17, 19, 20 des Profils (Fig. 23), liegen mithin 120, 100,

Fig. 24.

Profil der Grundwasserstände in der Nähe des Allerflusses bei verschiedenen Wässerständen der Aller.

Hochwasser vom Februar bis März 1866.

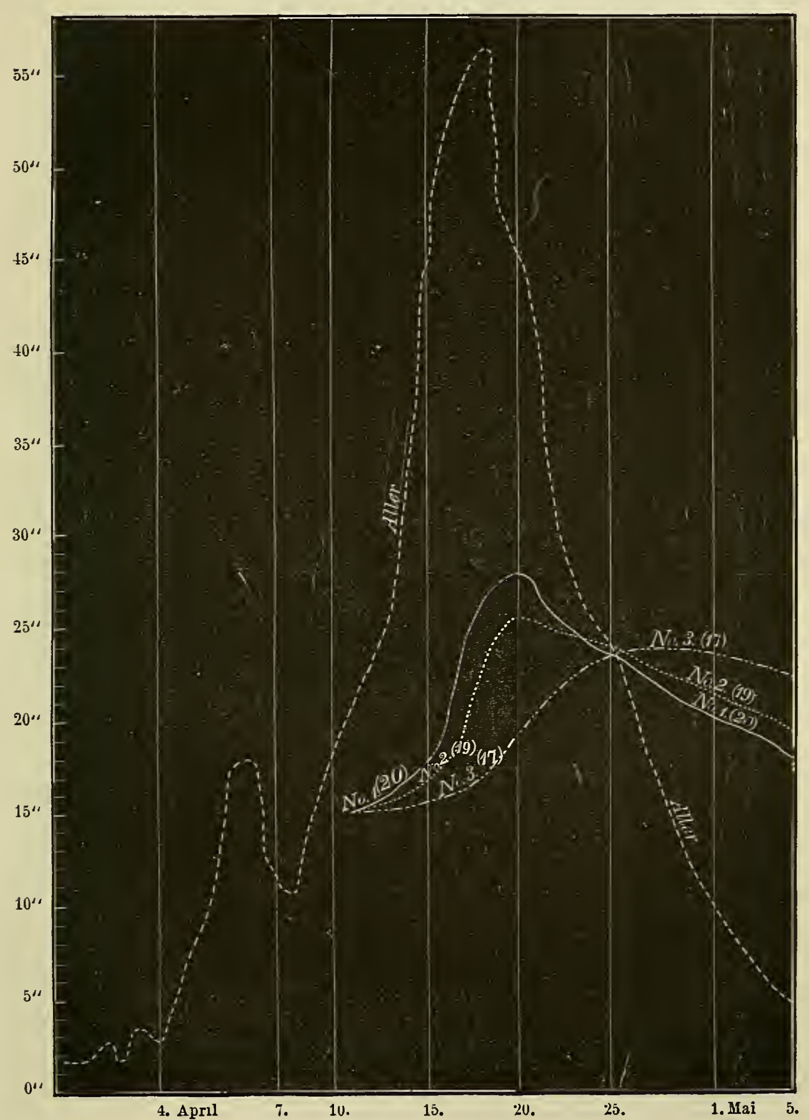


75, 30 und 10 Ruthen, d. i. 584, 468, 351, 140 und 47 Meter von der Aller entfernt.

Fig. 25.

Profil der Grundwasserstände in der Nähe des Allerflusses bei verschiedenen Wasserständen der Aller.

Hochwasser vom April 1866.



Die Beobachtungen im Februar und März 1866 ergaben, dass der Wasserstand bei Nr. 1 (Fig. 24), 47 und 140 Meter von der Aller, bereits 5 Tage nach Eintritt des höchsten Wasserstandes in der Aller zu sinken anfing, während in Nr. 3 (351 Meter von der Aller) erst 17 Tage nach Eintritt des Hochwassers in der Aller der höchste Wasserstand eintrat; bei Nr. 4 (468 Meter von der Aller) 19 Tage und bei Nr. 5 (584 Meter von der Aller) 21 Tage nach dem Hochwasser in der Aller.

Im April 1866 trat abermals ein bedeutendes Hochwasser ein, welches seinen höchsten Stand am 16. April erreichte. Im Grundwasser trat bei Nr. 1 der höchste Stand am 20. April, bei Nr. 2 am 21. April, bei Nr. 3 am 26. April ein. Die Erhöhung betrug 11,11 resp. 8,1/2″.

Die Verzögerungen, welche nach diesen Angaben die Schwankungen der Wasserstände im Boden erlitten haben, sind demnach folgende:

Bei dem Hochwasser im März 1866 betrug die Zeit, innerhalb der der höchste Wasserstand nach dem höchsten Stande der Aller sich einstellte:

in Nr. 1—2 für 47—140 Meter Entfernung vom Flusse . . 5 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 10—28 Meter;
in Nr. 3 für 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 17 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 20 Meter;
in Nr. 4 für 468 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 19 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 24 Meter;
in Nr. 5 für 584 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 21 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 28 Meter.

Bei dem Hochwasser im April 1866 waren die Strömungsverhältnisse folgende:

Zeit, innerhalb welcher der höchste Wasserstand nach dem des Allerflusses sich einstellte:

in Nr. 1 für 47 Meter Entfernung vom Flusse . . . . . 4 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 12,5 Meter;
in Nr. 2 für 140 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 5 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 28 Meter;
in Nr. 3 für 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 10 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 35 Meter.

Als etwas den natürlichen Verhältnissen näher kommend sind jene Beobachtungen aufzufassen, in welchen die zeitliche Aufeinanderfolge der Schwankungen bei Abnahme des Hochwassers studirt wurde. Bei dem Hochwasser im Februar erfolgte die Abnahme recht rasch; während nun das Wasser in der Aller den tiefsten Stand am 7. März erreichte, war Niedrigwasser bei Nr. 1 (20) (Entfernung von der Aller 47 Meter) am 9. März, bei Nr. 2 (19) (Entfernung 140 Meter) am 10. März, bei Nr. 3 (17) (Entfernung 351 Meter) am 11. März, bei Nr. 4 (16) (Entfernung 468 Meter) am 14. März eingetreten.

Aus diesen Angaben lässt sich abermals annähernd die Geschwindigkeit berechnen, mit der das Grundwasser der Aller zuströmte, es betrug die Verzögerung, mit welcher sich das Niedrigwasser, das Grundwasser dem Stande der Aller gegenüber einstellte:

bei Nr. 1 (20), 47 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 2 Tage,
die daraus resultirende Geschwindigkeit 23,5 Mt. pro Stunde;
bei Nr. 2 (19), 140 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 3 Tage,
die daraus resultirende Geschwindigkeit 47 Meter pro Stunde;
bei Nr. 3 (17), 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 4 Tage,
die daraus resultirende Geschwindigkeit 88 Meter pro Stunde;
bei Nr. 4 (16), 468 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 7 Tage,
die daraus resultirende Geschwindigkeit 67 Meter pro Stunde.

Aber auch hier haben wir kein vollkommen entsprechendes Bild der eigentlichen Grundwasserbewegung; wir haben es hier mit einem vom Flusse angestauten Wasser zu thun, dessen Ablauf sich wesentlich nach dem Ablauf des Flusses richten wird; höchstens könnte man die Befunde unter einander einem Vergleich unterziehen, und da ersieht man aus beiden Beobachtungsreihen, dass die Geschwindigkeit mit der Entfernung vom Flusse zuzunehmen scheint. Frühling nimmt an, dass dies vielleicht seinen Grund habe in der Ablagerung thoniger Stoffe durch das beim Eindringen sich filtrirende Flusswasser.

Das Eindringen des Flusswassers in den Boden erfolgt also in diesem Falle mit einer Geschwindigkeit von 10—35 Metern pro Tag. In ähnlicher Weise wurde auch in Wien [1]) anlässlich des Hochwassers von 1880 an 4 Tagen der Wasserstand im Donaustrom und Donaukanal, sowie gleichzeitig das Grundwasser in benachbarten Baugruben und Brunnen verzeichnet. So werthvoll nun diese Zahlen im Allgemeinen auch sind, so geben sie doch keinen Maassstab für die wirkliche Strömung des Grundwassers. Sind doch die Verhältnisse, unter denen sie gewonnen wurden, ganz andere, zum Theil sogar direct entgegengesetzte als die für die Bewegung des Grundwassers geltenden. Es wurde hier nicht die Geschwindigkeit des gegen den Fluss zuströmenden Grundwassers, sondern umgekehrt die des aus dem Fluss in den Boden einsickernden Flusswassers untersucht. Es kommen also hier andere Gefällsverhältnisse in Betracht; als Motor wirkt hier nicht die Höhendifferenz, das Gefälle der undurchlässigen Schicht, sondern der in der Wasserhöhe des Flusses gegebene Druck, der das seitliche Einströmen veranlasst. Hierzu kommt dann freilich auch die Bewegung des Grundwassers, denn die Höhe des Grundwassers an jedem einzelnen Punkte ist abhängig von der Menge des vom Flusse herrührenden Wassers und von dem nachströmenden und durch den Fluss angestauten Wasser. Ausserdem ist selbst die Bodenschicht, für welche die Wassergeschwindigkeit berechnet wurde, nicht ganz dieselbe, wie die, in welche gewöhnlich das Grundwasser

1) Technischer Bericht über die Grundwasserverhältnisse in Wien. Erstattet vom Stadtbauamte im Februar 1880.

strömt, sondern es sind die höheren, sonst vom Grundwasser freien Schichten.

Zu maassgebenderen Resultaten konnten Versuche führen, die mit Beimengungen von im Grundwasser nicht vorkommenden, leicht nachzuweisenden Substanzen angestellt werden. Wenn sich auf einer Strecke, dem Laufe des Grundwassers folgend, eine Reihe von Brunnen oder Bohrlöchern befindet, so kann man dadurch, dass man an einem höher gelegenen Brunnen eine dieser Substanzen einführt, aus der Zeit, die vergeht, bis sich diese Substanz in einem tiefer gelegenen Brunnen nachweisen lässt, und aus der Distanz zwischen diesen beiden Brunnen die Geschwindigkeit bestimmen, mit der sich das Grundwasser bewegt.

An dem S. 262 beschriebenen und im Profile Fig. 22 dargestellten Versuchsbrunnen wurden mit Hilfe von Kochsalz und Blutlaugensalz Bestimmungen der Grundwasserströmung gemacht, jedoch nicht bei den natürlichen Verhältnissen der Grundwasserströmung, sondern bei einer durch Pumpen auf 3 Meter gebrachten Absenkung des Grundwasserspiegels. Auf diese Weise wird also nur constatirt, wie sich die saugende Wirkung in die Ferne verbreitet hatte. Wir wollen dennoch in etwas auf diese Versuche eingehen, da sie durch ihre Anordnung immerhin einen Schluss auf die Strömungsverhältnisse des Grundwassers gestatten.

Diese Versuche gingen ferner von der Voraussetzung aus, dass die Beschaffenheit des Bodens in der Umgebung des Bodens vollständig gleichartig sei und dass in nächster Nähe des Schachtes, aus dem das Wasser gepumpt wurde, das denselben speisende Wasser central zuströme.

Die Versuche wurden nun an 5 Bohrlöchern angestellt, deren Lage und Entfernung z. Th. aus dem Profile Fig. 22 ersichtlich ist, und von denen 3 auf der südlichen, 2 auf der östlichen Axe lagen. Das Resultat war folgendes:

Die Geschwindigkeiten ergaben:

	für die südliche Axe		für die östliche Axe	
	pro Secunde	pro 24 Stdn.	pro Secunde	pro 24 Stdn.
für die Entfernung von:	Meter	Meter	Meter	Meter
5 Mt. vom Centrum des Hauptbrunnens	0,024	2073,6	0,011	950,4
10 = = = = =	0,0121	1045,4	0,0056	483,8
20 = = = = =	0,006	518,4	0,0028	241,9
50 = = = = =	0,002	172,8	0,001	86,4
100 = = = = =	0,001	86,4	0,0006	51,8

Die Geschwindigkeit nimmt hier natürlich mit der Entfernung vom Hauptschachte, d. h. von dem Orte, wo gepumpt wird, ab, dabei aber sehen wir, dass die Bewegung des Wassers gegen die Pumpstelle hin in der südlichen Axe viel rascher (ungefähr zweimal

so rasch) erfolgt als in der östlichen (hauptsächlich deshalb, weil im ersten Falle die natürliche Bewegung des Grundwassers, sein Gefälle, seine Stromrichtung in dieser Axe gelegen ist, während die Bewegung in der östlichen Axe in einer dem Grundwasserstrome zum Theil entgegengesetzten Richtung erfolgte, vergl. S. 261). Es liesse sich aus diesen Daten vielleicht eine Berechnung der natürlichen Grundwasserbewegung anstellen an der Hand der Niveauabsenkung (3 Meter) und der Verzögerung in der dem Grundwasserstrom entgegengesetzten Ansaugung, besonders wenn wir auch die Resultate der Durchlässigkeitsbestimmung des Bodens in verticaler Richtung herbeiziehen (vgl. S. 110), die für das vertical niedergehende Wasser eine Geschwindigkeit von 23 Min. 9 Sec. für den Meter oder von 0,00072 Meter in der Secunde ergeben haben; es haften jedoch den so erhaltenen Zahlen doch noch zu viele Fehlerquellen an. Die Voraussetzungen, von denen der Versuch ausging, dass das Material der Umgebung ein vollkommen gleichartiges sei, dass in der Nähe des Schachtes, aus dem Wasser gepumpt wurde, das denselben speisende Wasser zuströme, sind nicht als erwiesen zu betrachten, auch ist eine eventuelle Diffusion der gelösten Stoffe nicht mit in Betracht gezogen worden und wohl noch andere Momente.

Als feststehend können wir jedoch betrachten, dass die Strömung des Grundwassers gegenüber der der offenen Wasserläufe in der Regel eine viel langsamere sein wird, und so dient das Grundwasser gewissermaassen als Regulativ für die Wasserzüge, das in Zeiten starken Zuflusses Vorräthe aufspeichert, welche nur allmählich wieder abgegeben werden.

3. Mächtigkeit des Grundwasserstromes und Niveauabstand von der Oberfläche.

Um über diese und noch einige spätere Punkte eine richtige Vorstellung zu bekommen, genügt es nicht, irgend eine locale Grundwasseransammlung ins Auge zu fassen, sondern es muss ein seinen geologischen und meteorologischen Verhältnissen nach einheitliches, möglichst grosses Gebiet in Berücksichtigung gezogen werden und ein Ueberblick gewonnen werden über das Grundwasser, sowie die übrigen Wasserläufe in ihrem Ursprunge, dem Punkte, wo die Niederschläge an höchster Stelle einsickern oder abfliessen, bis hinab zu dem Punkte, wo das Grundwasser in die offenen Wasserläufe ausmündet oder oberflächlich abfliesst.

Dies ist freilich nicht immer leicht möglich, es setzt eine genaue geologische Durchforschung der Gegend voraus und auch dann kön-

nen die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Bodenschichten sehr erschweren.

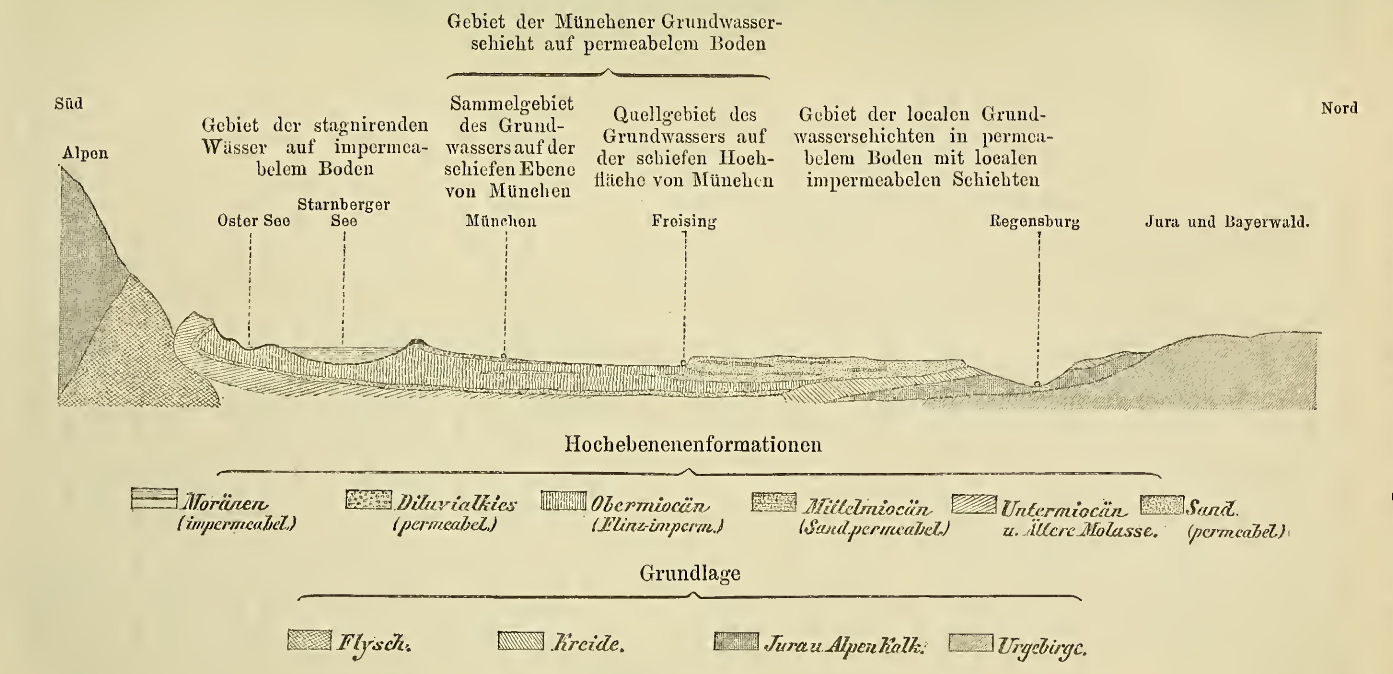
Eine relativ leichte Orientirung gewähren die Verhältnisse auf der bayerischen Hochebene, auf deren Details schon wiederholt Bezug genommen wurde. Diese Hochebene [1]) (Fig. 26) bietet in ihrem südlichen, dem Gebirge anschliessenden Theile einen äusserst einfachen geologischen Bau, entsprechend der Entstehung derselben. Die durchgreifende Vergletscherung, die während der Eiszeit die Alpen betroffen hatte, liess die Eisströme alle Thäler ausfüllen und bis auf die Hochebene herabsteigen, die nunmehrigen Flussthäler des Inn, der Isar, des Lech u. s. w. als Inn-, Isar- und Lechgletscher u. s. w. ausfüllend. Während nun unmittelbar dort, wo der Gletscher selbst die Erdoberfläche bedeckte, seine Grundmoräne als eine compacte, feste, wegen der massenhaften Thonbeimengungen undurchlässige Decke zurückblieb, lagerten sich in den vor den Gletschern gelegenen Regionen die durch die Schmelzwässer transportirten, von der Moräne abgelösten Geröllmassen in den Thälern als Glacialkies, Glacialschotter ab, in weit grösserer Mächtigkeit und Breite, als dies den heutigen Flussthälern entspricht, und gaben so Veranlassung zur Bildung jener mächtigen Kies- und Gerölllager, welche die bayerische Hochebene in den Flussthälern des Inn, der Isar, des Lech bedecken, auf dem tertiären Flinz aufruhend. Die Mächtigkeit dieser Kieslager über der undurchlässigen Schicht ist eine allmählich von Nord nach Süd abnehmende, was sich ebenfalls aus der Entstehungsgeschichte derselben erklären lässt, indem die Ablagerung aus dem Wasser allmählich mit dessen weiterem Lauf abnehmen musste. So erstreckt sich denn vom Gebirge her und zwar von der Grenze der Moränenlandschaften nach Norden eine Reihe von Gletscherstrombetten, jetzt mit Kies, mit Geröll ausgefüllt, welche die charakteristischen, in ihrer Zusammensetzung und für das Studium des Grundwassers so einfachen Verhältnisse darbieten.

Es sei hierbei betont, warum auf der norddeutschen Ebene, wo doch ebenfalls die Bodenbeschaffenheit auf eine frühere Vergletscherung hinweist, diese Verhältnisse einen viel weniger deutlichen Einblick gewähren. Die Vergletscherung übt stets eine doppelte Wirkung auf die Bodengestalt aus, eine unmittelbare, dem Gletscher selbst zukommende, diese äussert sich wieder nach zwei Richtungen hin, zerstörend und aufbauend, indem der sich bewegende Gletscher auf seiner Wanderung seine Unterlage erodirt und sie als Moräne weiter transportirt und an seinem Ende als Endmoräne wallartig aufthürmt, sodann eine mittelbare, den vorangehenden Niederschlägen und dem Schmelzwasser zuzuschreibende, die in dem Transport und der Ablagerung des von den Moränen losgelösten Gerölles, des Glacialschotters, besteht. Während nun in Süddeutschlend die unmittelbare wie die mittelbare Gletscherwirkung in derselben Richtung sich

1) Vergl. PENCK, Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Leipzig 1882.

Fig. 26.

Querprofil durch die bayerische Hochebene von den Alpen bis an die Donau zur Veranschaulichung der Bodenverhältnisse von München und Umgebung.



Länge 1 : 1 250 000. Höhe 1 : 25000. Höhe : Länge = 50 : 1.

bewegt, indem die Wanderung der Gletscher wie der transportirenden Wasserläufe von Süd nach Nord geschah, war dies in Norddeutschland nicht der Fall. Die von Skandinavien über Norddeutschland sich ausbreitenden Gletscher rückten von Norden nach Süden vor, während die Wasserläufe, wie ein Blick auf die Landkarte zeigt, die entgegengesetzte Richtung einschlugen.

Das bereits besprochene Grundwasser um München ist nun als ein Theil eines Gebietes aufzufassen, das als das Gletscherstrombett des Isargletschers zu betrachten ist. Wir können hier ein continuirliches, unterirdisches, die Neigung von SSW nach NNO einhaltendes Grundwasserbecken annehmen, das an der äussersten Grenze der Moränenlandschaft beginnt und schliesslich seinen tiefsten Punkt, seine Entwässerung bei Moosburg, am Zusammenfluss der Amper und Isar findet. Wir müssen dies Gebiet an der Moränenlandschaft beginnen lassen, da diese als eine undurchlässige Tertiärschicht keine Grundwasseransammlung, wohl aber Seenbildung, wie Starnberger, Ammer-See u. s. w., entstehen lassen kann.

Die grösste Breitenausdehnung dieses Beckens fällt ungefähr in die Gegend von München mit ca. 35 Km., die Ausdehnung von Süd nach Nord ca. 70 Km. Es erstreckt sich über ein Areal von 1485 □Km. resp. 148558 Hektaren. In diesem Gebiet nun bildet das Grundwasser ein mehr oder weniger einheitliches Ganze, und wollen wir die Beziehungen desselben zu den beeinflussenden Factoren an einem Punkte feststellen, so müssen wir nothwendigerweise die das ganze Areal betreffenden Momente in Berücksichtigung ziehen.

Der Aufbau dieses Gletscherstrombetts gibt uns nun ferner ein Bild von den Beziehungen des Grundwassers zur Oberfläche. Die Tiefe, in welcher das Grundwasser unter dem Oberflächenniveau sich findet, ist eine wechselnde. Sie hängt von dem Niveau der undurchlässigen Schicht, aber natürlich auch von der Höhe der über derselben aufgethürmten durchlässigen Kiesschicht ab. Da nun diese Anschwemmungen glacialen Schotters je weiter der Strom von seinem Ursprunge sich entfernt, an Mächtigkeit abnehmen, so müssen auch, von localen Unregelmässigkeiten, Hügelbildungen, Thaleinsenkungen abgesehen, die über dem Flinz sich ausbreitenden Kieslager und mit ihnen die Entfernung, in welcher das Grundwasser unter dem Niveau der Oberfläche sich befindet, von Nord nach Süd abnehmen. Dies tritt auch vollkommen zu Tage. Je mehr wir uns von Süden nach Norden nähern, desto früher stossen wir auf die wasserundurchlässige Schicht, desto früher auf das Niveau des Grundwassers.

Unmittelbar an der Grenze der Moränenlandschaft beträgt allein

die Entfernung vom Niveau des Terrains bis zu dem des Grundwasserspiegels 30—85 Meter. Die vor der bogenförmig abschlies-

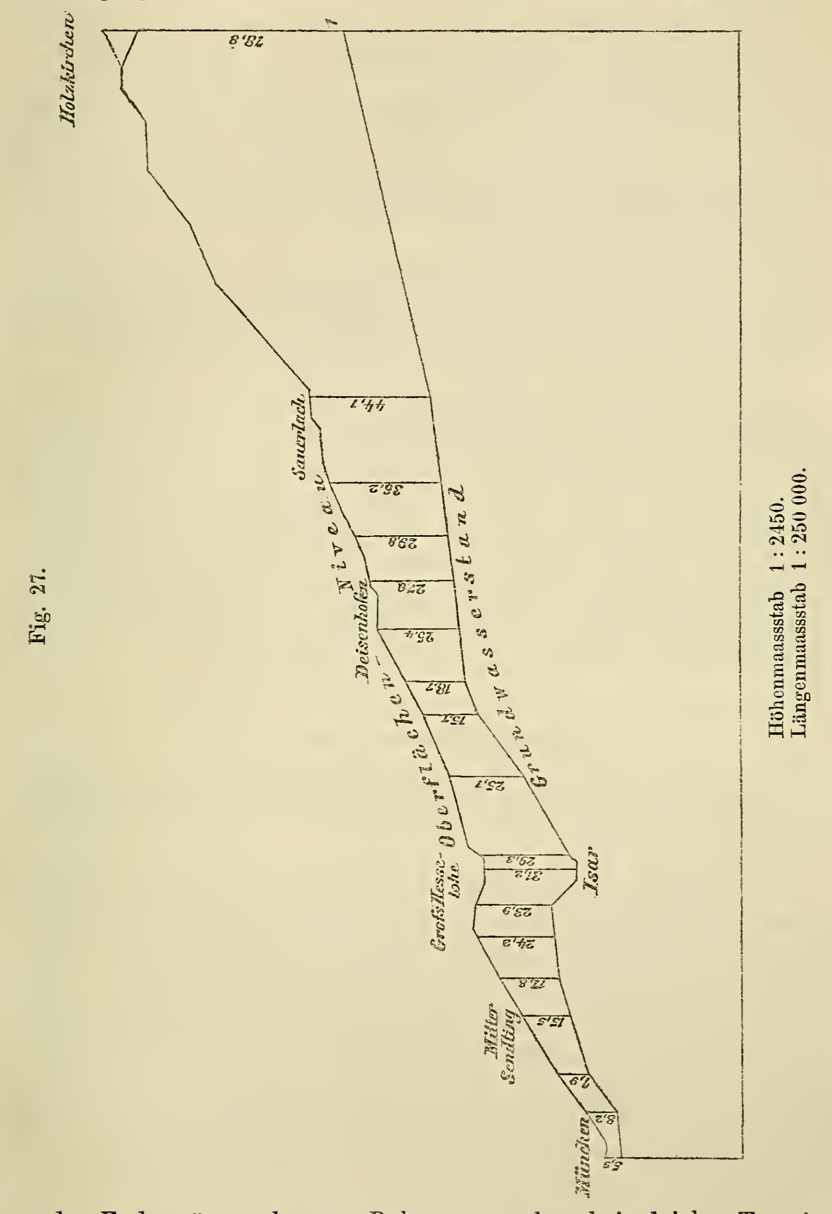


Fig. 27.

senden Endmoräne gelegenen Bohrungen geben bei gleicher Terrainhöhe, ca. 660 Meter über dem Meeresspiegel, in der Richtung von

Südost nach Nordwest folgende Abstände des Grundwassers von der Oberfläche [1]):

Mittlerer Abstand 40,4, Föching 70,0, Kl. Eichenhausen 44,5, Ebertshausen 24, Gauting (Terrainhöhe nur 564 Meter) 20,6.

Im Gleissenthal bei Deisenhofen, ca. 6,5 Km. nördlich, hat sich diese Distanz bereits auf 19—8 Meter vermindert, in München selbst, ca. 16,5 Km. von der äussersten Moräne entfernt, auf 2—6 Meter und noch weiter nördlich tritt das Grundwasser bereits an vielen Stellen als Quellen und Moor zu Tage.

Fig. 27 gibt ein kleines Uebersichtsbild über diese Verhältnisse nach Brunnenmessungen, die längs der Eisenbahn gemacht wurden; je weiter nach Norden, desto mehr nähert sich das Grundwasser der Oberfläche, indem die Geröllschicht an Mächtigkeit abnimmt.

Auf dieser Strecke von 37 Km. verringert sich der Abstand des Grundwasserniveaus von der Oberfläche von 78,8 resp. 67,8 Meter zu 5,5 Meter, also um 62,3 Meter. Es kann dies nur eine Folge davon sein, dass das Niveau der Oberfläche stärker fällt als das des Grundwassers, und in der That, die Höhendifferenz im Niveau der Oberfläche beträgt auf dieser Strecke von Holzkirchen bis München 164,1 Meter, entsprechend einem Gefälle von 4,4 auf 1000, wogegen das Grundwasserniveau auf dieser Strecke nur um 80,6 Meter, entsprechend einem Gefälle von 2,16 auf 1000, fällt.

4. *Herkunft des Grundwassers.*

Wir müssen für alle die Wasseransammlungen im Boden, Quellen wie Grundwasser, Bäche, Flüsse, die meteorischen Niederschläge verantwortlich machen.

Je nachdem der Erdboden oder die Gesteine mehr oder weniger wasserundurchlässig sind, dringt mehr oder weniger von dem Meteorwasser ein. Das bis zu gewissen Tiefen gedrungene Wasser kommt entweder an tieferen Stellen der Erdoberfläche in Quellen wieder zum Vorschein oder es setzt seinen unterirdischen Lauf bis zu benachbarten Flüssen, Seen oder Meeren fort. Die Meteorwässer, Regen, Schnee, Thau u. s. w., das Wasser der Bäche, der Flüsse, der Seen und des Meeres, das schmelzende Eis der Gletscher, sind die Gewässer unserer Erde, aus denen die Quellen entstehen [2]).

1) Die Wasserversorgung der Stadt München. Vorproject von A. Thiem.

2) Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie.

Wir wollen diese Frage hier sofort entscheiden, wenn wir auch noch einmal auf den Zusammenhang zwischen Grundwasser und Niederschlag bei Betrachtung der Schwankungen beider eingehen müssen.

Ob die Niederschläge wirklich ausreichen, um sämmtliches Grundwasser eines bestimmten Gebiets zu speisen, lässt sich an gewissen grossen Entwässerungsgebieten entscheiden und ist auch in positivem Sinne entschieden worden.

Bei dem Garonnefluss fand man durch 14jährige Beobachtung die jährliche Regenmenge an der Mündung des Flusses (bei Marmande) 731 Mm., im Garonnethal 627 Mm. Der Inhalt des Flussgebiets ist 5 193 978,1 Hektaren, die mittlere Wassermenge im Jahre 32566 Millionen Cubikmeter. Die Wassermenge der Garonne beträgt dagegen nur 21692 Millionen Cubikmeter im Jahre, also nur 64,6 % der Regenmenge.

An der Brücke unterhalb der Tuilerien führt die Seine bei mittlerem Wasserstande 255 Cbm. pro Secunde ab, das gibt im Jahr 8042 Millionen Cubikmeter. Der Flächenraum, von dem das Wasser hier abgeführt wird, beträgt 4 327 000 Hektaren, die Regenmenge 561 Mm. pro Jahr; die Niederschlagsmenge beträgt also im Jahr 24274 Millionen Cubikmeter, von denen die Seine nur ca. 1/3 abführt. Aehnlich hat man für die Rhone berechnet, dass ihre durchschnittliche Abflussmenge beiläufig gleich ist 58 % des auf dieser Fläche sich ergebenden Niederschlags.

Für das Inselreich England hat DALTON eine Berechnung über Einnahme und Ausgabe an Wasser angestellt. Bei einem mittleren Regenfall von 36,4 engl. Zoll = 924,5 Mm. fand er eine Nieder-

schlagsmenge von . .	4 181 713 536 000	Cbfuss	=	118 342 Mill. Cbm.
Die Themse ergiesst jährlich ins Meer .	166 624 124 000	„	=	4 715 „ „
Die übrigen Flüsse von England und Wales	1 499 617 152 000	„	=	42 439 „ „
Zusammen	1 666 241 280 000	Cbfuss	=	47 154 Mill. Cbm.

so dass die Abflussquote 39,8 % des Regenfalls beträgt und insgesammt 60,2 % desselben verdunstet werden.

Der Rhein lässt nach BERGHAUS bei Emmerich durchschnittlich pro Secunde 2600 Cbm. abfliessen. Das Flussgebiet des Rheins beträgt 4080 □Meilen = 224 644 800 000 □Meter mit einem mittleren Regenfall von 26,4 Pariser Zoll = 714,6 Mm. Das beträgt jährlich 5 346 432 Millionen Cubikfuss = 965 739 Millionen Cubikmeter oder pro Secunde 169 534 Cubikfuss = 5255 Cbm. Sonach beträgt der Abfluss nur 49,8 % des Regens.

Aehnliche Berechnungen sind für die Weser, für die Lippe, die Rehde bei Danzig, die Brienne, die Yonne[1]) angestellt worden. Die Wassermengen, die durch die Flüsse zum Abfluss gelangten, schwankten zwischen 52—74 % der Niederschläge.

Wenn wir jedoch die Herkunft irgend einer localen Wasseransammlung zu einer bestimmten Zeit erklären wollen, so reicht diese einfache Deutung oft nicht aus, da die meteorischen Factoren mitunter erst nach einiger Zeit, oder an einem entfernteren Orte, oder überhaupt indirect zu Tage treten. Auch haben wir entsprechend der einheitlichen Auffassung eines grossen Grundwassergebiets die Communication im Auge zu behalten, und so gelangen wir dazu, für die jeweilige örtliche Grundwasseransammlung drei Momente als entscheidend anzusehen:

1. die unterirdische directe Zusickerung von Grundwasser aus den höheren Partien des einheitlich zusammenhängenden Gebiets,
2. die eventuellen Zuflüsse, welche von offenen Gerinnen, die bereits das Wasser des Bodens und der Oberfläche gesammelt haben, als Verlust an das Grundwasser abgegeben werden,
3. die Niederschläge.

5. *Unterirdische Zuflüsse von Grundwasser.*

Das Wasser, welches aus dem Gebirge zufliesst, wird nur unter günstigen Umständen, bei geeigneter Configuration und einem ununterbrochenen Zusammenhange mit dem Gebirge dem Grundwasser zufliessen können; sowie sich aber eine undurchlässige Schicht zwischen den Abfall des Gebirges und die Hochebene einlagert, wie dies z. B. bei der Moränenlandschaft der Fall (Fig. 26), wird die Speisung des Grundwassers auf diesem Wege aufhören.

Für das Quellengebiet südlich von Wien, am Abhange der Alpen, in der Gegend von Wiener Neustadt, ist die aus dem Gebirge zusetzende Wassermenge ein wichtiges beständiges Element der Speisung, gleichsam eine untere Schicht von Grundwasser, über welche sich die beiden anderen veränderlichen Arten von Zuflüssen, wie obere Schichten, bald in grösserer, bald in geringerer Mächtigkeit fortbewegen[2]). Für das von uns speciell als Beispiel angeführte Münchener Gebiet (Fig. 26) kann dies ebenfalls bis zu einem gewissen Grade angenommen werden; dort jedoch, wo die Endmoränen die früheren Gletscher dieser Zone mit einem impermeablen Wall um-

---

1) Zusammengestellt in: G. v. Möllendorff, Die Regenverhältnisse Deutschlands. 1862. 2) Bericht über die Erhebungen der Wiener Wasserversorgungscommission. Wien 1864. S. 160.

geben, aus dem das Wasser, das sich in den hinter den Endmoränen befindlichen Depressionen in Form von Seen (Starnberger-, Ammer-, Chiemsee u. s. w.) angesammelt, nur durch schmale Einschnitte (Würm, Amper, Alz) abfliessen wird, wird keineswegs eine ausgedehntere unterirdische Durchsickerung eintreten.

In neuester Zeit wird auch von italienischer Seite auf eine derartige unterirdische Wassercirculation hingewiesen, die geeignet sein soll, die eigenthümlichen Verhältnisse der Bodenfeuchtigkeit in der malariareichen Campagne zu erklären.

Diese römische Campagne, der Ager romanus, stellt ein keineswegs ebenes Terrain dar, sondern besteht zum mindesten zu vier Fünftel aus Hügeln, die zu beiden Seiten des Tiberthals stufenweise bis zu den vulkanischen Bergen der Sabatinischen Kette nach Norden und bis zu jenen der Latischen Kette nach Süden zu aufsteigen, und meist sehr hohe Erhebungen über das Niveau des Tiberthals und seiner zahlreichen Seitenthäler bilden.

Bei der Betrachtung der Wasserverhältnisse dieser Gegend wird man nun überrascht durch das ungeheuere Missverhältniss, welches zwischen der Regenmenge, die auf den Boden fällt, und der grossen Menge lebendiger Quellen und Wassertümpeln besteht, die durch die unterirdische Vertheilung dieser Quellen entstehen, welche man fast aller Orten am Fusse der Hügel, mitunter selbst an ihren Abhängen antrifft. Das Jahresmittel der Regenmenge in dieser Gegend beträgt nur eine Wasserhöhe von einigen Centimetern; überdies verläuft sich oder verdunstet das Regenwasser in diesem trostlosen Gebiet und die Sommer geht oft vorüber, ohne dass ein einziger Regentropfen fällt. Tommasi-Crudeli [1]) schliesst sich in der Erklärung dieser Verhältnisse den Arbeiten Dr. Tucci's an, welcher hier ein unterirdisches Hinzusickern von Wasser aus höher gelegenen Gegenden annimmt. Die ganze Campagna von Rom wird nämlich zu beiden Seiten der Tiber von alten vulkanischen Kratern beherrscht, welche in bemerkenswerther Höhe im Norden auf den sabatinischen, im Süden auf den latischen Bergen gelegen sind. Einige dieser Krater sind jetzt Seen, andere sind geschlossene Bassins. Das Wasser, welches sich in diesen Becken sammelt, und ebenso jenes, welches die Seen enthalten, dringt in die permeableren Lagen der Wände und des Grundes dieser alten Krater ein, gelangt in den unter der römischen Campagna gelegenen Grund und bildet dort ausgedehnte unterirdische

---

1) Tommasi-Crudeli, Die Malaria von Rom. Deutsch von Schuster. 1882, und Il Clima di Roma. Rom 1886.

Wasserflächen, welche in der Richtung der Flussthäler nach abwärts verlaufen. Diese Wasserflächen können manchmal ihrer ganzen Dicke nach die Hügel durchsetzen, in deren Zusammensetzung vulkanischer Tuff und Thon eintritt, vorausgesetzt, dass auch starke Schichten von Puzzolan, Lapilli, Sand oder Kies vorhanden sind. Wenn sie jedoch auf ihrem Wege Hügel finden, welche vollständig aus wenig durchlässigem Material bestehen, so bewirkt die Kraft des Impulses, welche ihnen innewohnt, dass sie auf dem Rücken dieser compacten Formationen emporsteigen, oder sie zwingt sie, unter denselben durchzugehen und ihren Weg jenseits der Basis des Hügels fortzusetzen. Diese letztere Thatsache gibt uns die Erklärung für die grosse Menge von Quellen, welche man am Fusse der römischen Hügel antrifft, insbesondere auf der rechten Seite des Tiber, deren Hydrographie durch das grosse Reservoir von Bracciano, ca. 30 Km. nordwestlich von Rom, beherrscht wird.

Diese unterirdischen Wasserflächen grenzen an den Tiber und die Seitenflüsse der Campagna und speisen alle diese Wasserläufe, so dass sie ihnen eine gleichmässige Fortdauer durch alle Zeiten des Jahres erhalten. Allein ein grosser Theil dieses Wassers bleibt doch im Untergrunde der römischen Campagna eingeschlossen zwischen den wenig durchlässigen Schichten der Hügel oder aber unter der Masse von abgewaschenem Erdreich, welches in den Thälern angehäuft ist.

In diesem letzteren Falle können die Thäler von diesen Gewässern, welche unter der pflanzentragenden Schicht stehen und daraus manchmal Sümpfe bilden, befreit werden; es handelt sich nur darum, in tiefen Graben, welche parallel mit der Basis der Hügel gezogen sind, alle die unterirdischen Quellen, welche daraus hervorkommen, zu sammeln und diese Gewässer dem natürlichen Sammelplatz zuzuführen.

Um jedoch das Innere der römischen Hügel von diesen Gewässern zu befreien, dazu scheint nach TUCCI bei den Alten ein in der letzten Zeit aufgedecktes, ausgedehntes und weitverzweigtes System von unterirdischen Stollen, Tunneln (cuniculi) von einer durchschnittlichen Höhe von 1,5 Meter und Breite von 0,5 Meter gedient zu haben; diese zu einem grossen Kanalnetze sich vereinigenden Stollen bildeten ein ziemlich vollkommenes Drainagesystem. Sie fehlen beständig in allen Hügeln, die aus Lava oder Alluvialkies bestehen, und selbst in den Hügeln, in deren Zusammensetzung sich vulkanischer Tuff findet, deren Hauptmasse aber aus Puzzolan oder Lapilli besteht. In allen diesen Fällen vollzieht sich die Entwässe-

rung des Untergrundes auf natürlichem Wege, was durch die Sedimente bestätigt wird, die identisch sind mit jenen, welche die cuniculi verstopfen, und welche das Wasser in den Spalten der Lava, in den Zwischenräumen des Kieses und der Lapilli und im Innern der alten Puzzolangruben, welche man manchmal in diesen Hügeln findet, abgesetzt hat. Im Gegensatz hierzu enthalten die Hügel, deren Hauptmasse aus vulkanischem, wenig durchlässigem Gestein besteht, das man im Grossen und Ganzen mit der Artenbezeichnung Tuff zuzusammenfasst, eine mehr oder weniger grosse Zahl dieser Stollen.

Wenn wir von dem, jedenfalls noch hypothetischen Zusammenhange mit dem Seebecken absehen, so haben wir hier besonders in jenen Fällen, wo es sich um eine unterirdische Circulation in den für Wasser nicht undurchlässigen Hügeln handelt, nichts anderes vor uns, als einen Grundwasserstrom, der vom Gebirge her zuströmt, und der vorwiegend von den im Gebirge fallenden Niederschlägen gespeist wird. Es ist deshalb wohl auch gar nicht nöthig, eine Permeabilität des Seebodens, der Seewände, eine Einpressung des Wassers von den Seen her anzunehmen. Auch die Art und Weise, wie die Drainirung in jenen Gegenden vorgenommen werden kann, in welchen das Wasser unter dem lockeren Erdreich des Thalbodens sich bewegt, die Anlegung von Gräben, parallel zur Hügelbasis, stimmt vollständig mit jenem Vorschlage von Daubrée (S. 249) überein, die unterirdischen Quellen des Grundwassers behufs ihrer Verwerthung zu sammeln.

Eine Analogie zu diesem Verhalten bietet die Erklärung des Vorherrschens von Malaria in mehreren regenlosen Oasen der afrikanischen Sahara, deren geologische Structur man sich nach Hirsch [1]) so vorzustellen hat, dass mehr oder weniger grosse muldenförmige Vertiefungen eines felsigen oder stark hygroskopischen Bodens die Behälter und Strombetten unterirdischer Wasseransammlungen bilden, die von einer Schicht Alluvium, der Bodenoberfläche der Oase, bedeckt sind, und im Frühjahre, in Folge der Schneeschmelze auf den centralen Gebirgszügen Mittelafrikas anschwellen. Der Einfluss dieser subterranen Gewässer auf die Durchfeuchtung des darüber gelegenen Bodens ist so gross, dass selbst der zwischen den einzelnen Oasen gelegene sandige Boden während des Frühjahrs in grünende Weide verwandelt wird.

---

1) Hirsch, Historisch-geographische Pathologie. I. Bd. II. Aufl. S. 192; siehe auch Zittel, Lybische Wüste.

Unter denselben Verhältnissen soll nach Armieux Malaria an einzelnen Punkten Spaniens und Griechenlands vorkommen.

6. Beziehung des Grundwassers zu oberflächlichen Gerinnen.

Die oberflächlichen Gerinne, die aus den Bergen stammen, geben mitunter auf ihrem Laufe Wasser an den Untergrund ab, das so dem Grundwasser zu Gute kommt. Es gibt derartige Gerinne, deren Bett sich in einem lockeren, für Wasser durchlässigen Terrain befindet, die jedoch nicht als Recipienten oder Abflusswege des Grundwassers zu betrachten sind, sondern nur als oberflächliche Abflüsse oder als Ueberläufe von Wasseransammlungen (Seen). Deren Niveau und selbst die Sohle liegt dann meist weit über dem Niveau des Grundwassers. Derartige Beispiele finden wir sehr häufig auf Hochebenen, in Gebirgsgegenden, wo die Wässer in offenen Gerinnen abfliessen. Es kommt diese Erscheinung dadurch zu Stande, dass in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain blossgelegt ist und das hierauf folgende Gefälle des Grundwassers grösser ist als das Gefälle des durch den Einschnitt gebildeten Wasserlaufs. So fällt der Wasserspiegel der Würm, welche den Abfluss des Starnberger Sees bildet, ungefähr 8 Km. vom See entfernt, mit dem benachbarten Grundwasserspiegel in eine Ebene. Das Grundwasser fällt jedoch in seinem weiteren Verlaufe auf dieselbe Länge mehr als der Würmspiegel, so dass schon in Pasing (11,5 Km. von München) der Würmspiegel 7 Meter über dem Grundwasserspiegel liegt[1]). Es ist auch annähernd der auf diese Weise eingetretene Wasserverlust bestimmt worden.

Am Ausflusse der Würm aus dem Starnberger See führte die Würm (6. Juli 1876) 6,72 Cbm. ab; dieses Quantum vermehrt sich noch bis Gauting auf 7,34 Cbm. durch das unterirdisch zufliessende Grundwasser in dem Moos am nördlichen Seeende und durch die sichtbar auftretenden Quellen im Mühthaldefilée. Bei Pasing dagegen (10,7 Km. von Gauting) hatte sich dieses Quantum auf 5,9 Cbm., also um 12,2 % gegenüber der Wassermenge am Seeausfluss und gar um 19,6 % gegenüber der Wassermenge bei Gauting vermindert. Auf diese Weise kann es schliesslich zum vollständigen Verschwinden eines derartigen Wasserlaufs kommen, indem er seinen Wasserreichthum allmählich vollständig an das Grundwasser abgibt (Hachinger Bach).

In Sicilien findet man nach Irvine viele Flussbetten, welche im Sommer vollkommen trocken gelegt werden, die sogenannten Fiu-

1) A. Thiem, Die Wasserversorgung der Stadt München (Vorproject).

maren, und in deren Umgegend Malaria endemisch herrscht; die Untersuchung hat nun gezeigt, dass sich im oberen Strombett ein kleiner Bach findet, der plötzlich im Sande zu versiegen scheint, in der That aber, nachdem er den Boden durchdrungen, unterhalb des Strombetts seinen Weg fortsetzt. Dies gilt unter Anderem von der grossen Fiumare, welche längs des nördlichen Theils von Messina verläuft, im Sommer ebenfalls ganz trocken erscheint, sich jedoch, wenn man nur 1—2 Fuss tief gräbt, schnell mit frischem Wasser füllt. Dieselbe Bewandtniss hat es wahrscheinlich mit jenen anscheinend trockenen Malariaorten Sardiniens, deren unter dem Fusstritt zitternder Boden (von den Bewohnern daher Tremulo genannt) das nahe Grundwasser verräth [1]).

Es ist jedoch wichtig, sich über die Grösse dieses Einflusses auf das Grundwasser klar zu werden, meist sind die Verluste, die diese Gerinne erleiden, im Verhältniss zu der ungeheuren Masse des Grundwassers so gering, dass ihr Einfluss nicht merklich ist. Nach Messungen an der Leitha (11. Mai 1863) verlor dieselbe auf ihrem Wege von Lanzenkirchen nach Zillingsdorf (ca. 13,3 Km.) folgende Wassermengen [2]):

	Entfernung in Km.	Wassermenge in Cbm.	Verlust
Lanzenkirchen .	—	1 991 950	—
Neustadt . . .	6,4	1 080 900	911 050 = 45,7 %
Zillingsdorf . .	8,9	954 000	126 900 = 11,7 % der früheren.
Summa	15,3	—	1 037 950 = 52 %

Trotz dieses grossen Verlustes, der an diesem Tage mehr als die Hälfte der Wassermenge der Leitha betrug, die auf dem Wege noch etwa sich beimengenden Zuflüsse nicht mitgerechnet, haben die grossen Tiefquellen den Zuwachs nicht empfunden und zeigten keine wesentlichen Veränderungen, auch nachdem im Juni das Leithabett ganz trocken geworden war.

Auch aus einem anderen Grunde noch erklärt sich der geringe Einfluss, den die oberflächlichen Gerinne auf das Grundwasser nehmen. Das Bett derselben nimmt mit der Zeit, selbst wenn es ursprünglich in einem vollkommen durchlässigen Material gegraben war, einen undurchlässigen Charakter an, indem es allmählich verschlammt und verkiest wird. So erklärt es sich, dass in München, wo ein Netz oberflächlich gelegener, im Kies fliessender Stadtbäche die Stadt durchzieht, diese auf den Grundwasserstand keinen Einfluss üben,

1) Hirsch, Historisch-geographische Pathologie. I. S. 192.

2) Bericht über die Erhebungen der Wiener Wasserversorgungscommission.

weder in quantitativer, noch in qualitativer Beziehung. In quantitativer Beziehung insofern nicht, als bei der sogenannten Bachauskehr, dem Zeitpunkte, wo behufs Reinigung des Bachbetts das Wasser nicht in die Stadtbäche geleitet wird, keine Verminderung, kein Sinken des Grundwasserstandes beobachtet wird. Das Fehlen einer Einwirkung in qualitativer Beziehung wird dadurch ersichtlich, dass Brunnen, die in unmittelbarer Nähe der ziemlich verunreinigten Stadtbäche sich befinden, in ihrer chemischen Zusammensetzung keine Anhaltspunkte dafür geben, dass ihnen Wasser aus denselben in erheblicher Quantität beigemischt wäre.

PETTENKOFER[1]) führt aus dem Würmgebiet noch einige interessante Beobachtungen an:

In Planegg (11,5 Km. von München), unmittelbar an der Würm, kaum 100 Schritte von derselben, befindet sich ein Lagerkeller, dessen Sohle, trotzdem sie mehr als 20′ unter dem Spiegel des Flusses liegt, doch stets trocken war. Von 1850 an begann sich jedoch in demselben Wasser zu zeigen, bis es vom October 1852 bis zum Januar 1853 mehrere Zoll hoch stand und im Sommer und Herbst den höchsten Stand erreichte (am 7. September 14′ 8″). Abgesehen nun davon, dass dieses Grundwasser in dieser Zeit ziemlich anhaltend gestiegen war, während die Würm sowohl im Sommer 1852 als auch im Frühjahr 1853 nach relativ hohem Wasserstande wieder gefallen war, war auch in dem betreffenden Jahr 1853 der höchste Stand im Keller erst eingetreten als die Würm von ihrem allerdings auch in diesem Jahr erreichten höchsten Stande wieder durch 2 Monate im Absinken begriffen war. Wenn nun auch naturgemäss eine Infiltration des umgebenden Erdreichs allmählich erfolgen musste und also der Wasserstand im Keller in seinen Schwankungen dem der Würm nachgehen musste, so hätte doch bei der geringen Entfernung die Zeitdifferenz im Eintritt des höchsten Standes höchstens einige Tage betragen dürfen. Dass aber nicht etwa locale Zufälligkeiten hierfür bestimmend gewesen sind, zeigte ein zweites Beispiel an demselben Flusse, ungefähr ½ Stunde flussaufwärts, wo ein nur kaum 50 Schritte von der Würm entfernter Keller zur selben Zeit dieselben Erscheinungen darbot. Auch der Umstand, dass die Schwankungen der Würm im Maximum ca. 5′, die des Grundwassers in den Kellern dagegen ungefähr 30′ betrugen, spricht gegen die Annahme einer grossen Beeinflussung der letzteren durch die Würm.

7. *Beziehungen des Grundwassers zu Flüssen.*

Es ist hier am Platze auch die Beziehungen zu erwähnen, die zwischen dem Stande und der Strömung des Grundwassers und denen der Flüsse im Allgemeinen, insbesondere der grösseren Flüsse, be-

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreiche Bayern. München 1857. S. 345.

stehen. Durch längere Zeit wurde an der Anschauung festgehalten, dass die Flüsse in Folge der Durchlässigkeit ihres Bettes Wasser an den Untergrund abgeben, dass dieses unter dem Begriff Seihwasser sich abwärts und seitlich in den Untergrund infiltrirt. E. Suess [1]) spricht sich über dieses Verhältniss zwischen Grund- und Flusswasser folgendermaassen aus: Man begnügt sich damit, einen Fluss als die Vereinigung einer grösseren oder geringeren Anzahl von kleineren Flüsschen, von Bächen und Quellen anzusehen, welche ihr Wasser in einem gemeinsamen Bette fortwälzen; man betrachtet den Wasserlauf lediglich als eine Erscheinung der Erdoberfläche, ohne zu bedenken, dass wenn er wirklich nur der Oberfläche angehören würde, nothwendiger Weise jeder Niederschlag der Atmosphäre, welcher sein Becken trifft, sofort abfliessen und daher jeder Fluss zur Thau- und Regenzeit noch viel grössere Anschwellungen zeigen müsste, als er ohnehin zeigt, während in der trockenen Jahreszeit selbst das grösste Flussbett nahezu trocken sein müsste. Der bedeutende Grad von Beständigkeit, welchen die meisten Flüsse in ihrer Wassermenge zeigen, beweist aber, dass die Erscheinung keine so einfache sei. Die wahre Ursache dieser Beständigkeit erhellt aus Folgendem:

Nur in seltenen Ausnahmefällen gräbt sich ein Fluss sein Bett der ganzen Länge nach in wasserdichten Boden, z. B. im plastiischen Thon. In solchen seltenen Fällen, welche überhaupt nur bei kleineren Flusslinien bekannt sind, ist allerdings der ganze Wasserlauf eine Erscheinung der Oberfläche und treten wirklich jene oben erwähnten grossen Schwankungen auf. Bei Weitem die Mehrzahl der Flüsse ist aber wenigstens durch einen grossen Theil ihres Laufes begleitet von einem bald breiteren, bald schmäleren Streifen von losen Aufschüttungen, den sogenannten Alluvien des Flusses; nicht selten sind die älteren Schichten, an welche sich die Alluvien anschmiegen, ebenfalls von losen Gesteinen, z. B. von Sand oder Geröllen, gebildet. Dann ist aber Wasser nicht nur in der sichtbaren Flussrinne, sondern auch in den Alluvien und den dieselben begrenzenden Schichten enthalten, und zwar ist der Boden zu beiden Seiten des Flusses bis zu einem Niveau mit Wasser angefüllt, das in gewisser Beziehung zum Wasserstande im Flusse selbst steht. Diese grossen unterirdischen Wassermengen nennen wir mit dem von Pettenkofer in München in Gebrauch gesetzten Namen Grundwasser.

Das Grundwasser bildet sich durch alle jene Niederschläge, welche in den losen Boden eindringen, und, ohne an der Oberfläche

2) E. Suess, Ueber den Lauf der Donau. Oesterr. Revue. 1866.

zu sichtbaren Wasserfäden gesammelt zu werden, unterirdisch dem Flusse zuströmen. Da nun dieses Zuströmen durch die Zwischenräume des losen Bodens unverhältnissmässig viel langsamer vor sich geht als in offener Rinne, und Verzögerungen von Wochen und Monaten eintreten können zwischen dem Niederfall eines Wassertropfens auf durchlassenden Boden und seinem Eintritt in den Fluss, bildet der Abfluss des Grundwassers grossartige Compensationsapparate, welche während der nassen Jahreszeit grosse Mengen von Feuchtigkeit zurückhalten und dafür während der Dürre fortfahren den Fluss zu speisen.

Das Niveau, bis zu welchem sich unterirdisch der Spiegel des Grundwassers erhebt, kann in der Regel nicht tiefer liegen als der mittlere Wasserstand des Flusses, weil sonst eindringendes Flusswasser den Boden bis zu diesem Niveau anfüllen würde. Man findet im Gegentheil, dass wo immer noch genaue Nivellements von Wasserspiegeln in Brunnen angestellt worden sind, sich ein stetiges Ansteigen dieses unterirdischen Wasserspiegels landeinwärts gezeigt hat.

Dieses Ansteigen des Grundwasserspiegels vom Flusse aufwärts ist wohl der sprechendste Beleg dafür, dass das Grundwasser den Flüssen zuströmt, diese speisend, nicht umgekehrt (vgl. S. 259 und Cap. III).

Jedoch ganz ohne Einfluss und ohne Rückwirkung auf das Grundwasser erscheinen die Flüsse nicht. Die Schlussfolgerungen, die Suess an die Schwankungen in der Härte des Wassers in Wien knüpft, führen bereits zur Annahme einer Einsickerung von Flusswasser in die lockeren Bodenschichten zu beiden Seiten des Flusses. Er charakterisirt diesen Zustand in folgender Weise:

Wo das Bett eines Flusses aus durchlassenden Schichten, z. B. aus Schotter, gebildet ist, sickert das Wasser in grosser Menge in den Boden und breitet sich in demselben weit aus. Auf diese Weise entsteht unterirdisch eine Schicht von Feuchtigkeit, deren untere Fläche von der Oberfläche des nächsten wasserdichten Stratums gebildet wird, während die obere Fläche abhängig ist von dem Wasserstande des Flusses; so sucht sich auch das Wasser der Donau aller Orten unter den durchlassenden Schichten der Alluvionen, sowie der diluvialen Massen des Donausteilrandes auszubreiten, und reichen die Brunnen in diesem Gebiete nur etwa ins Niveau des Flusses, ihr Wasserstand ist von dem der Donau unabhängig.

Wir haben diese zwiefachen und scheinbar gegensätzlichen Beziehungen der Flüsse zum Grundwasser auf die Lagerung des Flussbettes mit Rücksicht auf die wasserführenden und undurchlässigen Schichten zurückzuführen.

1. Dort, wo das Flussbett sich innerhalb des durchlässigen Bodens befindet, hoch über der undurchdringlichen, wassertragenden Schicht (Berlin Cap. III, Bremen) oder nur eben auf dieser letzteren aufruhend (Wien Cap. III), ändern sich die Drainageverhältnisse des Bodens mit jeder Aenderung des Flussniveaus. Die Höhe des im Boden befindlichen Wassers wird natürlich abhängig sein von der Höhe, in welcher sich der Abfluss befindet, steigt dieser letztere, so muss auch die Höhe des Wasserniveaus im Boden zunehmen, und umgekehrt. Nun erfolgt aber der Abfluss des Grundwassers in diesem Falle in einer Ebene, welche mit der Ebene der Flussoberfläche zusammenfällt, da der Fluss hier als der tiefste Punkt der Drainage aufzufassen ist, und welche demnach sich mit dem Ansteigen des Flusses erhebt, mit dem Abschwellen erniedrigt. Steigt das Flussniveau, so wird zunächst so lange Wasser von Seite des Flusses in den Boden einsickern, bis das Grundwasser so weit gestiegen ist, dass dessen Niveau das Flussniveau wieder um jene Höhe überragt, die nöthig ist, um den Widerstand im Boden zu überwinden und das Wasser in Bewegung zu bringen. Sinkt nun wieder das Flussniveau, so vertieft sich damit gewissermaassen die Drainage und der Abfluss des Grundwassers wird beschleunigt, und das Grundwasser fällt so lange, bis wieder das Gleichgewicht zwischen Höhe des Grundwassers einerseits und Reibung und Tiefe des drainirenden Flussbettes andererseits hergestellt ist. So ist in Wien (Cap. III, Fig. 37) der Grundwasserspiegel im Donaudistrikt sehr bedeutenden Schwankungen ausgesetzt, welche in erster Reihe durch die jeweiligen Wasserstände des Donaustromes und Donaukanales bedingt sind [1]), und in Berlin (Cap. III, Fig. 34) und Bremen documentirt sich der Einfluss der steigenden und fallenden Spree dadurch, dass ihr Steigen ein Anstauen und ihr Sinken ein beschleunigtes Abfliessen, und somit ebenfalls ein Sinken der Zuflüsse, von der Mündung an abnehmend, verursacht, und dass der Rhythmus in den Schwankungen sowohl des Flusses als auch des Grundwassers ein nahezu identischer ist [2]) (vergl. Fig. 35).

2. Der zweite, entgegengesetzte Fall tritt ein, wenn das Flussbett tief in die undurchlässige Schicht einschneidet, so dass die impermeable Schicht in nicht unbedeutender Höhe demselben seitlich überlagert erscheint (München Fig. 20 *e*). Da erfolgt der Abfluss so

---

1) Resultate der Beobachtungen über die Grundwasserstände u. s. w. in Wien. 1886. — 2) Reinigung und Entwässerung Berlins. XIII. — Lossen, Der Boden der Stadt Berlin. — Soyka, Die Grundwasserschwankungen in Berlin und München nach ihren klimatolog. und epidemiolog. Beziehungen. Berl. Naturforschervers. 1886. — Idem, Ueber Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Wien 1887.

hoch über dem Flussniveau, dass der letztere denselben gar nicht zu erreichen, geschweige denn höher zu legen vermag, und es müssen deshalb die Schwankungen des Flussniveaus ohne Einfluss auf das Grundwasserniveau sein.

Im Gegensatz zu Berlin und Wien haben denn auch die Veränderungen, die sich im Laufe der Zeit an dem Flussbett der Isar herausgebildet haben, auf das Grundwasser in München keinen merklichen Einfluss gehabt. Mehrjährige Erfahrungen beweisen, dass in München bereits in geringer Entfernung von der Isar das Grundwasser von dieser nicht direct und merklich beeinflusst wird. In den Monaten Juli und August 1858 schwoll die Isar mehrmals bis zu 10′ über den 0 Pegel an und überschwemmte schon die Niederungen an ihren Ufern, aber der Stand der Brunnen hob sich kaum um 1 Zoll [1]).

Die innerhalb der Zeitperiode 1873—1875 ausgeführten Flussbauten haben ferner eine Aenderung des Isarflussbetts hervorgerufen, die sich sehr merklich im rechten Isararme und im Hauptarme flussabwärts ausdrückt, so dass sie Unterschiede und Veränderungen in der Sohle des Flussbetts bis zu 1,5 Meter ergeben haben, die in der neueren Zeit noch zugenommen und mehr als 2 Meter bereits erreicht haben. In Folge der durch die Regulirung herbeigeführten Verengerung des Flussbetts wurde dieses allmählich derart vertieft, das Wasserniveau also derart herabgesenkt. Vergleicht man mit diesem Befunde die Schwankungen des Grundwassers in jenen Theilen des Stadtbezirks, die eben ausserhalb des Bereichs der Isarschwankungen sich befinden, so sieht man, dass hier keine derartige allmähliche Abnahme des Niveaus eingetreten ist.

Vergleichen wir die mittleren Wasserstände der Isar und des Grundwassers in München, und zwar nur die jährlichen Schwankungen, so tritt dies aufs Deutlichste hervor. Als Vergleichsobject dient der Grundwasserspiegel des Brunnens im physiologischen Institut in München, an einer Stelle, ca. 1500 Meter westlich von der Isar entfernt, auf der mit *B* bezeichneten Terrasse des Profils Fig. 20 bereits nahe der Hochfläche *AA*, 521,28 Meter über dem Meeresspiegel, während der 0 Punkt des Isarpegels, des Bogenhauser Pegels, sich 504,234 Meter über dem Spiegel des adriatischen Meeres befindet.

Wenn wir nun die mittleren jährlichen Isarwasserstände und die mittleren Grundwasserstände in der Weise darstellen, dass sie uns die Höhe des betreffenden Wasserniveaus über dem adriatischen Meere angeben, so erhalten wir:

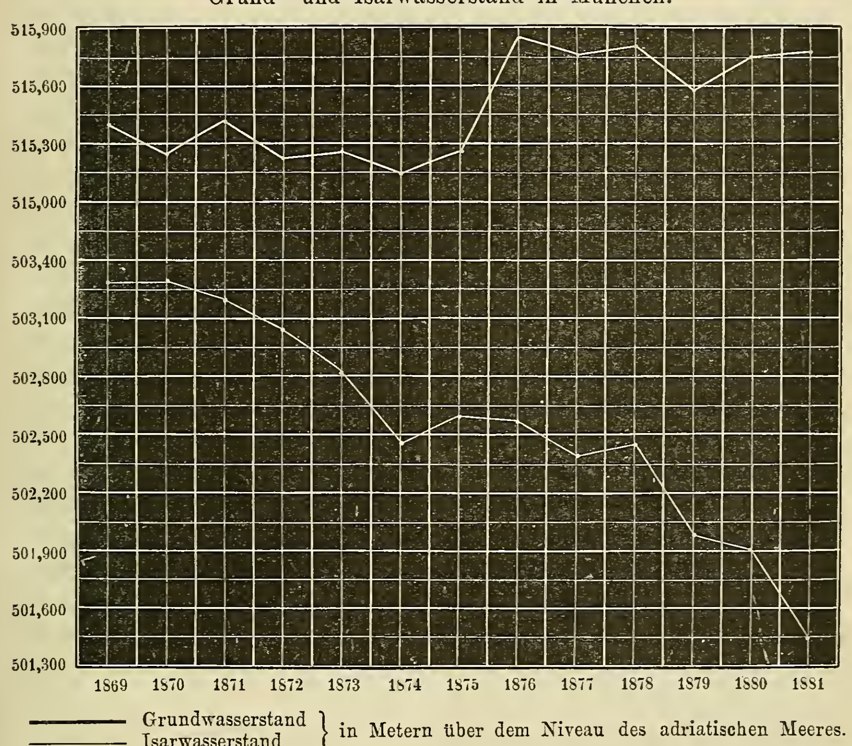
---

1) Pettenkofer, 5 Fragen aus der Aetiologie der Cholera. Pappenheim's Monatsschrift für exacte Forschungen. 1859.

	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881
Mittlerer Wasserstand d. Isar über dem adriat. Meere (Jahresdurchschn.)	503,28	503,28	503,19	503,04	502,82	502,46	502,60	502,57	502,40	502,45	501,98	501,91	501,44
Mittlerer Grundwasserstand im physiolog. Institut üb. d. adriat. Meere (Jahresdurchschn.)	515,39	515,22	515,40	515,22	515,25	515,15	515,26	515,85	515,76	515,81	515,58	515,75	515,78

Fig. 28.

Grund- und Isarwasserstand in München.



Das Niveau des Grundwasserstandes ist in München an dieser Stelle (1,5 Km. von dem Isarpegel) im Jahre 1869 um 12,1 Meter höher als das der Isar; während nun in den späteren Jahren nur unbedeutende Schwankungen auftreten und erst im Jahre 1875 ein etwas stärkeres und andauerndes Ansteigen des Grundwasserniveaus sich etablirt (mit einer Amplitude von ca. 0,7 Meter), zeigt dagegen der Isarwasserspiegel ein fast continuirliches und viel rascheres Absinken, um 1,84 Meter, so dass 1881 das Grundwasserniveau 14,3 Meter

höher ist als das Isarniveau. Das Niveau des Grundwassers hat sich, anstatt abzusinken, noch erhöht, und zwar absolut und relativ (relativ gegenüber der Isar um 2,2 Meter). 1869 floss das Grundwasser an bezeichneter Stelle 505,39 Meter über dem adriatischen Meere ab, 1881 515,78 Meter, 1869 die Isar 503,28 Meter, 1881 dagegen nur noch 501,44 Meter über dem adriatischen Meere.

Noch in einer anderen Weise, auf Grund der qualitativen und quantitativen chemischen Zusammensetzung, lässt sich mitunter ein Schluss ziehen auf die Selbstständigkeit des Grundwassers gegenüber dem Flusswasser, auf die Unabhängigkeit desselben vom letzteren. SUESS[1]) schon fand, dass die Härte der Brunnenwässer im Donaubezirk überall eine höhere ist als die des Donauwassers. Diese grössere Härte kann nun weder durch den Alluvialschotter des Alluvialgebiets der Donau, der fast ausschliesslich aus Quarzgeschieben und Geschieben von krystallinischen Felsarten besteht, noch aus dem aus Sandstein bestehenden Diluvialschotter des übrigen Theils des Donaubezirks herstammen, und nur durch die anderweitigen Quellen dieser Wasserschicht, nämlich durch die directen atmosphärischen Niederschläge oder durch die längs des Randes des Donaubezirks in denselben mündenden Sickerwässer des Hochbezirks oder durch das Hinzutreten anderer härterer Infiltrationswässer herbeigeführt werden, so dass also die Härte des Brunnenwassers des Donaubezirks durch dem Flusse zuströmende Grundwässer veranlasst wird, und hiermit abermals die Unabhängigkeit von Flusswasser documentirt wird; erst dort, wo wirklich Wasser vom Flusse her in den Boden versickert und sich mit dem Grundwasser vermischt, tritt eine Verminderung der Härte ein.

So bildet denn das Grundwasser ein unterirdisches, mächtiges Reservoir, den Seen der Gebirgsflüsse vergleichbar, welches dazu beiträgt, unsere Flüsse zu speisen und ihren Wasserstand zu reguliren und in einer gewissen Gleichmässigkeit zu erhalten.

8. *Beziehungen des Grundwassers zum atmosphärischen Wasser (Niederschlag und Verdunstung).*

Schwankungen der Niederschläge und des Grundwassers[2]).

Der Einfluss der Niederschläge auf das Grundwasser ist zum Theil schon erörtert worden. Die Erkenntniss dieses Einflusses jedoch, so unbestreitbar er nach diesen Untersuchungen auch ist, wird

1) Der Boden der Stadt Wien.

2) SOYKA, Ueber Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Geographische Abhandlungen, herausgegeben von A. PENCK. Wien 1887.

mitunter erschwert durch die combinirte Wirkung der verschiedenen anderen mitwirkenden Factoren. Der Umstand, dass die Niederschläge meist einen gewissen rhythmischen, an die Jahreszeiten gebundenen Verlauf darbieten, deren Wirkung aber vielfach nicht unmittelbar hervortritt, sondern erst nach Ablauf einer Zeit zur Geltung kommt, dass ferner die anderen Factoren diese unmittelbare Wirkung compensiren können, lässt vielfach den Zusammenhang verkennen, und wir können zahlreiche Beispiele anführen, dass Niederschlag und Grundwasserstand keinerlei Uebereinstimmung in ihrem Rhythmus zeigen.

In München stiegen z. B. die jährlichen Regenmengen von 1857 bis 1860 und fielen 1861 nahezu wieder auf den Stand des Jahres 1858 zurück, das Grundwasser fiel aber bis zum Jahre 1857, blieb 1858 nahezu auf gleicher Höhe, stieg aber beträchtlich nicht blos bis 1860, sondern bis 1861, wo es bedeutend höher stand als 1860, während die Niederschläge von 1860—61 sich umgekehrt verhielten[1]). In Berlin (Fig. 29) und Bremen erreichen die Niederschläge ihre grösste Stärke in den Sommermonaten (Juli bis August), das Grundwasser hat dagegen seinen höchsten Stand im Frühjahr (April), und in Prag waren nach J. Schütz[2]) die so massenhaften Niederschläge des Monats Mai 1872 fast ganz ohne Einfluss auf die Höhe des regelmässigen Messungen unterworfenen Grundwasserstandes; auch noch im Juni zeigten sich unbedeutende Schwankungen, die Anfangs Juli ihren immer noch relativ niedrigen Culminationspunkt erreichten, dagegen begann im Monat August 1872 trotz der vorausgegangenen enormen Hitze, trotz der verhältnissmässig geringen atmosphärischen Niederschläge ein Ansteigen des Grundwasserniveaus, das rasch und stetig bis in die Hälfte des Monats September anhielt.

Dieser scheinbare Widerspruch hat mitunter zur Aufstellung ganz eigenthümlicher Hypothesen über die Entstehung des Grundwassers geführt, wie die von Volger[3]), der als Ursache der Bildung von Quellen und somit auch von Grundwasser die Condensation des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes hinstellt. Indem die mit Wasserdampf beladene atmosphärische Luft in den kühlen Boden eintritt, wird ihre Temperatur daselbst erniedrigt, und muss sie in Folge dessen Wasser abgeben. Es wurde bereits S. 222 ff. der Condensation von Wasserdampf im Boden ge-

1) Pettenkofer, Ueber die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München von 1856—1867. Zeitschrift f. Biologie. IV. — Buhl, Ein Beitrag zur Aetiologie des Typhus. Ibidem. I.

2) J. Schütz, Grundwasser und Cholerabewegung in Prag 1873. Deutsche Zeitschrift f. pract. Medicin. 1874.

3) Volger, Die wissenschaftliche Lösung der Wasser-, insbesondere der Quellenfrage. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. XXI. 1877.

	4' über der Oberfläche	An der Oberfläche	Unter der Oberfläche in einer Tiefe von					Unterschied der Wärme der Luft und der Oberfläche des Bodens in der Tiefe von				
			1'	2'	3'	4'	5'	1'	2'	3'	4'	5'
Januar	0,69	0,78	1,71	2,43	3,46	4,19	5,14	− 1,02	− 1,74	− 2,77	− 3,50	− 4,45
Februar	− 0,18	− 0,09	1,34	1,98	2,92	3,56	4,40	− 1,52	− 2,16	− 3,10	− 3,74	− 4,58
März	2,46	2,06	2,20	2,49	3,13	3,64	4,25	+ 0,26	− 0,03	− 0,67	− 1,18	− 1,79
April	6,62	6,11	5,25	5,02	5,04	5,15	5,24	+ 1,37	+ 1,60	+ 1,58	+ 1,47	+ 1,38
Mai	11,34	10,27	8,26	7,95	8,10	7,19	6,96	+ 3,08	+ 3,39	+ 3,24	+ 4,15	+ 4,38
Juni	14,59	13,11	11,73	10,85	10,04	9,63	9,04	+ 2,86	+ 3,74	+ 4,55	+ 4,96	+ 5,54
Juli	17,04	15,72	14,29	13,30	12,46	10,93	10,34	+ 2,75	+ 3,74	+ 4,58	+ 6,11	+ 6,70
August	15,04	14,08	13,05	12,58	11,99	11,76	11,22	+ 1,99	+ 2,46	+ 3,05	+ 3,28	+ 3,82
September	11,81	11,34	11,04	11,40	11,32	11,57	11,25	+ 0,77	+ 0,41	+ 0,49	+ 0,24	+ 0,56
October	8,51	8,12	8,78	9,20	9,54	9,91	10,10	− 0,27	− 0,69	− 1,03	− 1,40	− 1,49
November	2,10	2,34	4,19	5,25	6,48	7,54	8,28	− 2,09	− 3,15	− 4,38	− 5,44	− 6,18
December	0,48	0,75	2,18	3,09	4,28	5,14	6,31	− 1,70	− 2,61	− 3,80	− 4,66	− 5,83

dacht und derselben eine nicht unwichtige Rolle zugeschrieben, und wollen wir deshalb auf diese Frage etwas näher eingehen.

Die gesammte Theorie stützt sich zuvörderst auf die Temperaturdifferenzen, die sich zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft vorfinden; es ist selbstverständlich, dass nur dann, wenn der Boden eine niedrigere Temperatur besitzt als die atmosphärische Luft, eine Condensation stattfinden kann, im anderen Falle wird sogar der Boden wasserärmer werden, da die kältere Luft im feuchten Boden erwärmt wird und hierdurch ihre Wassercapacität sich vermehrt.

Ein Vergleich der mittleren monatlichen Boden- und Lufttemperaturen zeigt nun, dass es sehr wenige Monate sind, in welchen die mittlere Lufttemperatur die des Bodens bedeutend überragt. (Von der obersten Bodenschicht = 0,00 Meter Tiefe, sei hier abgesehen, da sie, mit Rücksicht auf die Quantitäten des Wassers, um die es sich handelt, kaum in Betracht kommen kann.) Im 12jährigen Durchschnitt der Jahre 1852 — 63 von Berlin [1]) sind es die Monate April bis September, in denen überhaupt das Monatsmittel der Lufttemperatur das der Bodentemperatur übertrifft (vgl. nebenstehende Tabelle. Die Differenzen, bei denen die Bodentemperatur die der Luft übertrifft, haben ein negatives Vorzeichen). Mit diesen Schwankungen in den Temperaturdifferenzen stimmen nun die Schwankungen der Quellen resp. des Grundwassers gar nicht überein. Der höchste Grundwasserstand tritt in Berlin in den

1) Dove, Die Witterungserscheinungen des nördlichen Deutschlands. Preuss. Statistik. 1864.

Frühjahrsmonaten ein, zu einer Zeit, wo die mittlere Bodentemperatur noch höher ist als die der Luft, und der niedrigste Grundwasserstand im Anfange des Herbstes (October), wenn die Bodentemperatur noch niedriger ist als die Lufttemperatur, also Gelegenheit zur Condensation gegeben ist. Nach den Lysimeterbeobachtungen ferner fliessen gerade in den Wintermonaten, wo also keine Condensation im Boden stattfinden kann, die grössten Wassermengen ab, die geringsten dagegen im Sommer.

Wenn das Eindringen der atmosphärischen Luft in den Boden die Ursache der Quellbildung sein sollte, so müssten wir nach obigem Vergleich von der kälteren Jahreszeit, wo der Boden in den tieferen Schichten wärmer ist als die zugeführte Luft und keine Thaubildung erfolgen kann, ganz absehen; für die Quellenbildung während der wärmeren Jahreszeit würden dann nach WOLLNY[1]) die Erdschichten von ca. 1 Meter Tiefe und abwärts hauptsächlich in Betracht kommen, da in diesen erst die täglichen Temperaturschwankungen aufhören. In dieser Tiefe beträgt die Temperatur ungefähr 10^0 im Sommer. Nimmt man eine mittlere Temperatur der Luft von 20^0 C., so enthält die mit Wasserdampf gesättigte Luft in 1 Cbm. 17,3 Grm.; bei 10^0 kann dieselbe jedoch nur 9,7 Grm. fassen. 1 Cbm. mit Wasserdampf gesättigter Luft von 20^0 C. kann also durch die Abkühlung auf 10^0 7,6 Grm. Wasser abgeben. Während der Sommermonate Mai bis incl. September sickern bei mittlerer Beschaffenheit des Bodens in 1 Meter Tiefe und 1 □Meter Oberfläche ca. 69000 Grm. ab; hierfür wären also innerhalb 150 Tagen 9079 Cbm. Luft und pro Tag ca. 60,7 Cbm. Rechnet man, dass während der Nacht das Eindringen der Luft hauptsächlich erfolge, und dass dies innerhalb 10 Stunden geschehe, so müssten in jeder Minute ca. 0,1 Cbm. Luft bis zur Tiefe von 1 Meter eindringen, um nach dieser Hypothese die durch den Boden sickernde Wassermenge zu erklären. Für die Existenz einer solchen Luftbewegung haben wir aber keinerlei Anhaltspunkte, es fehlt auch die Kraft, die geeignet wäre, hierfür als Motor zu dienen.

Endlich macht auch HANN[2]) darauf aufmerksam, dass die Condensation einer so grossen Menge Wasserdampfes, wie sie bei einer ausschliesslichen Quellbildung durch dieselbe erforderlich wäre, zur Entbindung von derartigen Wärmemengen führen würde, dass hierdurch die Temperatur des Bodens bald so weit gesteigert würde, dass keine Condensation mehr eintreten könnte.

Der Grund, warum aber der Einfluss der Niederschläge sich im

---

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. II.
2) Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. XV. 1880.

Grundwasser nicht immer direct aussprechen kann, liegt theils in den Verhältnissen des Niederschlags selbst, theils in der Mitwirkung anderer meteorischer Factoren.

Die Niederschläge, welche auf die Oberfläche gelangen, zerfallen im Allgemeinen in drei scharf zu trennende Gruppen:

1. Jene, die die Erde anfeuchten und allmählich durch Verdunstung des unbebauten Bodens oder durch die ihn bedeckenden Pflanzen wieder der Atmosphäre zurückgegeben werden.

2. Jene, die, nachdem sie in die Erde gelangt, den beiden eben bezeichneten Arten der Verdunstung entgehen und sich langsam durch Abtropfen in die unterirdischen Kanäle begeben, um die Quellen zu nähren. Man könnte hier noch jenen Theil hinzufügen, der in dem Bette der fliessenden Gewässer durch Spalten in den Boden gelangt, um gleichfalls unterirdische Wasserreservoire zu speisen und sodann in Form von Quellen an tiefer gelegenen Punkten zu Tage zu kommen.

3. Jene, die auf einen Boden fallen, der entweder bereits gesättigt oder zu stark geneigt oder zu glatt und compact ist und die deshalb an der Oberfläche herabfliessen und sich unmittelbar in die Thalwege begeben. Dieser Theil des Regens wirkt oft sehr verderblich durch die Aushöhlungen und Ueberschwemmungen, die er hervorbringt.

Es wird nun vielfach angenommen, dass $1/3$ oberflächlich abläuft, $1/3$ verdunstet, $1/3$ in den Boden einsickert. Für die obigen Berechnungen der Abflussmenge der Flüsse würden also $2/3$ des Regenfalls zur Verfügung stehen, für das Grundwasser an einer beschränkteren Localität nur $1/3$. Diese Zahlenangaben sind aber recht willkürliche. In Wirklichkeit lässt sich überhaupt ein allgemeines Zahlenverhältniss bisher gar nicht aufstellen, weil dieser Vorgang von zu vielen unter einander verknüpften, mit einander sich combinirenden Factoren abhängig ist, als da sind: die Mächtigkeit der permeablen Schicht, die Beschaffenheit der Oberfläche, ihre Configuration, ihre Bedeckung, die Vegetation, die klimatischen Verhältnissen, wie die Temperatur, Feuchtigkeit der Luft, Richtung und Intensität der Luftbewegung, ferner die Dauer und Intensität des Regens, der Wechsel zwischen Regen- und regenlosen Zeiten.

Ein grosser Theil des niederfallenden Wassers geht innerhalb eines Jahres wieder in Dampfform in die Luft, wird somit dem Boden wieder entzogen. Man hat ja eben deshalb die Möglichkeit einer Quellenbildung durch Niederschläge geleugnet, weil man von der wiederholt constatirten, meteorologischen Thatsache ausging, dass die

Verdunstungsgrösse innerhalb eines Jahres die Niederschlagsgrösse zu übertreffen vermag. Dies sehen wir wenn wir z. B. die Niederschlags- und Verdunstungshöhe von Augsburg mit einander vergleichen [1]).

	Niederschlagshöhe in Millimetern	Verdunstungshöhe in Millimetern
1866	694,3	1162,7
1867	813,8	1226,3
1868	708,7	1351,6
1869	734,8	1228,1
1870	683,8	1328,7
1871	842,6	680,7
1872	1036,8	717,8
1873	1066,3	672,4
1874	980,7	666,2
1875	1259,7	705,2
1876	1097,2	684,9
1877	1323,3	643,0
1878	1281,2	474,2
Mittel	963,32	887,79

In 5 Jahren ist eine viel bedeutendere Verdunstungs- als Niederschlagshöhe beobachtet worden (1870 eine nahezu doppelt so grosse). In Madrid verdunstet eine Wasserschicht von 1607 Mm., die ungefähr das 4fache des Niederschlags beträgt. In der lombardischen Ebene beträgt die Verdunstung überall nahezu das 3fache des Niederschlags. Am grössten ist sie in Rom, wo sie 2621 Mm. beträgt und die von Kairo (2296 Mm.) noch übertrifft [2]).

Wenn nun diese Thatsache allgemeine Giltigkeit hätte, so müsste man in der That die Bedeutung der Niederschläge für die Quellen und Grundwasseransammlungen einschränken, wenn auch immerhin gewisse Gebiete (die Gebirgsgegenden) übrig blieben, wo sich die Verhältnisse im entgegengesetzten Sinne präsentiren. Die Zahlen für die Verdunstungsgrössen haben jedoch nur Giltigkeit bei freien Wasserflächen; sie würden also nur anzuwenden sein, wenn aller Regen, alle Niederschläge auf dem Erdboden sich ansammeln würden, ohne zu versickern und ohne oberflächlich abzufliessen. Durch diese beiden Vorgänge wird jedoch der Vorgang der Verdunstung wesentlich modificirt. Wir können annehmen, dass innerhalb der Zeit, in welcher der Niederschlag zu Boden fällt, die Verdunstung cessirt,

1) Bezold und Lang, Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. II.

2) Th. Fischer, Studien über das Klima der Mittelmeerländer. Petermann's Mittheilungen. Ergänzungsheft. LVIII. 1879.

denn wenn auch Frankland[1]) nachgewiesen hat, dass selbst während des Regens die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt zu sein braucht, indem die einzelnen Wasserbläschen Hüllen von Russ und Fett erhalten, so wird doch die Verdunstung eine minimale sein können. Nach Aufhören des Niederschlags wird aber das Wasser bald in den Boden eingedrungen resp. abgeflossen sein. Nun ist allerdings constatirt worden, dass der poröse Boden wegen der grösseren Oberfläche, die er der Verdunstung darbietet, mehr Wasser verdunsten lässt als eine freie Wasserfläche. Dieses Verhältniss ändert sich aber sehr rasch, sowie eine oberflächliche Austrocknung stattgefunden hat (S. 120), und ebenso vermindert sich die Verdunstung dadurch, dass das Wasser allmählich in die Tiefe dringt (S. 119). Gerade deshalb ist denn auch die Verdunstung von der Beschaffenheit und Intensität des Regens abhängig und ferner von den regenfreien Intervallen, von dem Wechsel zwischen Befeuchtung und Verdunstung. Je tiefer das Wasser in den Boden eindringt, wie dies bei einem, wenn auch nicht sehr heftigen, aber lange anhaltenden Regen geschieht, desto geringer wird die Verdunstungsgrösse; je weniger das Wasser in den Boden eindringt, desto weniger Zeit ist nöthig, um das Wasser wieder aus dem Boden verdunsten zu lassen; eine Regenmenge, die sich auf sehr viele kleine Niederschläge mit relativ kurzen, z. B. eintägigen Intervallen vertheilt, wird leichter vollständig verdunsten, als dieselbe Regenmenge in einem anhaltenden Niederschlag zu Boden fallend, selbst wenn dann eine sehr lange regenlose Zeit nachfolgt. Es findet diese Annahme eine wesentliche Stütze in den Untersuchungen Haberlandt's[2]) über die Verdunstung aus dem Boden bei verschiedener, künstlich imitirter Regenhöhe. Er beobachtete in Röhren, die mit einer bestimmten Bodenart angefüllt waren, die Tiefe, bis zu welcher die aufgegossene Wassersäule eingedrungen war, und bestimmte dann die Grösse und Schnelligkeit der Verdunstung (siehe die Tabelle auf folgender Seite).

Die Richtigkeit der oben aufgestellten Behauptungen erhellt aus diesen Zahlen aufs evidenteste. Je geringer der Niederschlag, je näher der Oberfläche die Flüssigkeit, desto rascher verdunstet sie, je tiefer dagegen der Regen eindringt, desto langsamer erfolgt die Verdunstung, um schliesslich fast vollständig zu cessiren. Hier ist in dieser Versuchsreihe zu berücksichtigen, dass mit einem Material gearbeitet

---

1) Frankland, On dry fog. Proceedings of the Roy. Soc. of London. XXVII. 1878. 2) Haberlandt, Wissenschaftlich practische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. II.

wurde, das, als aus einem feinsandigen Lehmkalkmergel bestehend, nur eine geringe Permeabilität für Wasser besitzt und dementsprechend das Wasser nur schwer in die Tiefe eindringen liess, dass

	Die aufgegossene Flüssigkeit entsprach einer Regenhöhe von					
	2,222 Mm.	6,667 Mm.	13,333 Mm.	26,666 Mm.	40,00 Mm.	53,33 Mm.
Eindringen der Flüssigkeit in die Tiefe in Mm.	6,67	33,3	66,7	106,7	160	206,6
Gewichtsverlust durch Verdunstung in % der aufgegossenen Flüssigkeit am	%	%	%	%	%	%
1. Tage	94,75	39,51	26,34	14,78	9,81	8,96
Weiterer Verlust am . . . 2. =	5,68	17,02	10,22	10,09	7,75	7,48
3. =	—	18,85	14,87	13,39	10,33	9,05
4. =	—	12,16	14,56	11,82	8,99	8,09
5. =	—	7,29	6,20	7,30	5,27	7,05
6. =	—	3,04	6,82	8,17	6,92	6,70
7. =	—	1,82	5,89	3,48	3,51	3,48
8. =	—	—	5,58	3,65	2,58	3,04
9. =	—	—	4,34	2,96	1,86	2,61
10. =	—	—	2,48	1,74	1,76	2,00
11. =	—	—	1,86	1,56	1,76	1,74
12. =	—	—	0,93	1,22	1,83	1,74
13. =	—	—	—	1,04	1,34	1,39
14. =	—	—	—	1,04	1,24	1,48
15. =	—	—	—	0,69	1,14	0,87
16. =	—	—	—	0,52	0,93	0,87
17. =	—	—	—	0,52	0,72	0,61
18. =	—	—	—	0,35	0,52	0,52
19. =	—	—	—	0,35	0,41	0,43
20. =	—	—	—	0,35	0,31	0,52
Nach 20 Tagen	100,43	99,69	100,09	85,02	67,98	68,63

ausserdem dieses Material entgegen den in der Natur zumeist bestehenden Verhältnissen vollständig ausgetrocknet war, wodurch ebenfalls ein tieferes Einsinken des Wassers verhindert wurde.

Sehr lehrreich sind in dieser Beziehung auch die Versuche von Pfaff [1]). Von den Niederschlägen des Sommerhalbjahrs drangen nur 7 % bis auf die wasserdichte Schicht nieder, wenn die poröse Schicht nur ½′ dick war, hingegen 37 % wenn die Schicht 4′ mächtig war; es hängt dieser Umstand offenbar auch mit der Verdunstung zusammen. In der dicken Schicht, wo sich unten Wasser ansammelte, konnte nie eine so vollständige Austrocknung des Bodens stattfinden, da die capillare Wasserleitung für eine stete Befeuchtung des Bodens

1) Pfaff, Ueber das Verhalten des atmosphär. Wassers zum Boden. Zeitschrift f. Biologie. IV. — Pettenkofer, Ueber die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München.

sorgte, wenn also neue Niederschläge kamen, so wurde höchstens noch eine geringe Menge derselben zurückgehalten, um die Sättigung herbeizuführen, der Ueberschuss tropfte ab. War aber der Boden vollständig ausgetrocknet, so musste eine viel grössere Menge Wasser zurückgehalten werden.

Eine Bestätigung für das Vorausgeschickte geben ferner die experimentellen Untersuchungen, die RISLER[1]) im Grossen auf seinen Grundstücken von 12,300 □Metern Ausdehnung aufstellte, indem er sowohl die Regenmenge als auch die in Drainröhren abfliessenden Wässer und die Bodenfeuchtigkeit bestimmte. Bei einer Niederschlagsmenge von 815 Mm. verdunstete im Jahre 1869 der Boden 664 Mm. = ca. 81 %, dabei war aber das Jahr 1869 ein abnorm trockenes, viele Quellen versiegten und die Ernte litt an Wassermangel, und musste die Verdunstungsgrösse auch dadurch eine Steigerung erfahren, dass es sich um bebauten Boden handelte.

Die im Verein mit Lysimeterbeobachtungen (die den Zweck haben, die Wassermengen zu bestimmen, die bei auffallendem Regen durch einen Boden hindurchsickern) gewonnenen Resultate über die Verdunstung ergaben in Deutschland Schwankungen zwischen 11,7 bis 17,9 % der gefallenen Regenmenge, in England 14,9—24,3 %, wobei auch die mineralogische Beschaffenheit des Bodens eine Rolle spielt.

Jedenfalls ist daraus ersichtlich, dass der Einfluss, den die Verdunstung auf die Bodenfeuchtigkeit ausübt, auch nicht überschätzt werden darf, wenn ihr auch, wie weiter unten gezeigt wird, zur Beurtheilung der localen Grundwasserschwankungen vielfach eine maassgebende Rolle zugeschrieben werden muss.

Der Niederschlag, der den Boden trifft, erleidet noch, bevor er an das Grundwasser gelangt, dadurch Verluste, dass er eine mehr oder weniger hohe Bodenschicht zu durchdringen hat, welche Wasser absorbirt; und da wird nun auch mehrfach behauptet, ein poröser Boden lasse deshalb Wasser überhaupt nur in geringe Tiefen einsickern und die Wassercapacität einerseits, die Verdunstung andererseits liessen die jährliche Regenmenge nicht genügend erscheinen, um auch nur die Capillaren des Bodens zu füllen, so dass alles Regenwasser in diesen zurückgehalten werden müsse. Was die Rolle der Verdunstung hierbei betrifft, so ist selbe bereits auf ihr richtiges Maass zurückgeführt worden. Die Capillarität des Bodens und die mit ihr verbundene Wassercapacität hat jedenfalls auch einen grösseren Einfluss, nur wirkt

1) MARIÉ DAVY, Ueber die Verminderung der Wassermenge der fliessenden Gewässer. Nach der auszugsweisen Uebersetzung von JELINEK in der Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie. IX.

derselbe Umstand, der ein Einsickern des Wassers in grössere Tiefen verhindern kann, andererseits wieder begünstigend für die Verdunstung.

Es ist unbestreitbar, dass ein vollständig ausgetrockneter Boden grosser Quantitäten Wasser bedarf, um auch nur seine absolute Wassercapacität zu sättigen. Eine trockene poröse Bodensäule von 50 Meter Höhe, wie sie ja nicht selten über dem Grundwasser sich erhebt, braucht, eine absolute Wassercapacität von 20 % vorausgesetzt, zur Sättigung eine Regenhöhe von 10 Metern, welche freilich nur erst nach Ablauf von vielen Jahren erreicht werden kann. So ist es auch erklärlich, warum in Versuchen von Perrault, De la Hire u. A., die Gefässe in verschiedene Tiefe vergruben, nie Wasser in die tiefsten herab gelangte. Die Bodenarten verbrauchten offenbar in der That Alles zur Sättigung ihrer Wassercapacität. Unter natürlichen Verhältnissen wird aber diese Trockenheit nicht erreicht (wenigstens in den gemässigten Zonen), wie aus der S. 78 citirten Bestimmung des Wassergehalts im natürlichen Boden ersichtlich ist, besonders dort, wo sich unter einer porösen Bodenschicht eine undurchlässige befindet, die zur Ansammlung von Grundwasser führt. Wenn auch die oberflächlichsten Bodenschichten relativ stark austrocknen, so dringt dieser Process, wie wir gesehen, nur sehr allmählich und langsam in die Tiefe, besonders da ihm das capillare Wasserleitungsvermögen auch noch entgegen arbeitet. Es wird also in einer gewissen, mässigen Tiefe stets ein Feuchtigkeitsgrad herrschen, der der absoluten Wassercapacität ziemlich entspricht (die „Durchgangszone“ Hofmann's, S. 310) und der fallende Niederschlag wird nur zum Theil dazu verbraucht, die oberen Schichten, die dem Austrocknungsprocess stärker unterliegen, die „Verdunstungszone“ zu sättigen, in den tieferen Schichten wird aber der durch sein Hinzutreten entstehende Ueberschuss abtropfen (vergl. auch S. 248).

Auf beiden Ufern des Rheins, bei Oberwesel und bei Caub, auf dem 600—800 Meter hohen Gebirge, befinden sich viele Schiefergruben in einem scheinbar ganz abgeschlossenen Felsgebirge. Trotzdem kann man in einer Tiefe von 70—100′ wahrnehmen, wie in 12—24 Stunden nach Verlauf eines anhaltenden Regens das Wasser mit Macht aus den Schichten des Gebirges über die Arbeitsstrecken herunter träufelt. Der Hedwigsschacht auf der Steinkohlengrube bei Oelsnitz ist 650 Meter tief. Auf der tiefsten Abbausohle ist die Kohle ganz trocken; es herrscht hier eine Temperatur von 22° R. Man schliesst auch beim Steinkohlenbergbau die oberen, wasserführenden, 200 bis 300 Meter mächtigen Schichten durch Mauerwerk ab und mauert den unteren Schacht nicht.

Für geringere Tiefen haben wir eine grosse Reihe von Lysimeterbeobachtungen, bei denen der Abfluss direct gemessen wird. Die Resultate schwanken zwischen 25—41 %, theils nach klimatischen Verhältnissen, theils auch nach der Bodenbeschaffenheit; so beträgt in Görlitz der Abfluss

vom Thonboden	28 %	der gefallenen Regenmenge
„ Lehmboden	41 %	„ „ „
„ lehmigen Sandboden .	40,5 %	„ „ „

Aehnlich wurde bei Drainanlagen die Abflussmenge bestimmt; es gelangen zum Abfluss:

bei Dolomitboden (England) . .	19,6 %	des Niederschlags
„ Thonboden (Tharandt) . . .	40,8 %	„ „
„ Lehmboden	58,7 %	„ „
in den Versuchen Risler's .	19,5 [1])—31 %	„ „

An der Hand dieser Daten und im Zusammenhalt mit der früher schon erwähnten Sättigung der absoluten Wassercapacität des Bodens können wir schon an der Bedeutung der Niederschläge für die Entstehung des Grundwassers festhalten.

Die Menge der zur Versickerung gelangenden Stoffe wird aber auch wieder ausserordentlich variiren, je nach der Jahreszeit, d. h. je nach dem Verhältniss der Niederschläge und der Luftfeuchtigkeit, wie aus der tabellarischen Zusammenstellung S. 299 ersichtlich ist [2]).

Wir sehen, welche grossen Unterschiede in den einzelnen Monaten sich finden, und wie sich hierdurch die einzelnen Jahreszeiten documentiren. Es gibt Monate, in denen kaum 1 % des Niederschlags durch den Boden hindurchgeht, ja wie der Boden in besonders trockenen Jahren den geringen Niederschlag vollständig aufsaugt, und wieder Monate, die allen Niederschlag hindurchtreten lassen oder gar paradoxer Weise mehr Niederschlag hindurchtreten lassen als auffällt (März in den Görlitzer und Tharander Versuchen). Dies ist wohl so aufzufassen, dass in dem vorhergehenden Monat der Boden vielleicht Wasser über seine absolute Capacität hinaus (vielleicht als Eis) festgehalten hatte, welches im folgenden Monat sodann zum Abfluss kam (vergl. auch S. 301).

So kann denn also bei einem geringen Niederschlag im Boden doch mehr Wasser zum Abfluss gelangen als bei einem grossen und bei einem Vergleich zwischen Grundwasserstand und atmosphärischen Niederschlägen müssen auch die anderen auf die Wasseransammlung

1) Im trockenen Jahre 1869, vergl. oben S. 296.

2) Gilbert, On Rainfall, Evaporation and Percolation. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1875/76.

im Boden Bezug habenden Factoren, der Zu- und Abfluss und die Verdunstung, berücksichtigt werden.

Die Unzulässigkeit, aus der an Ort und Stelle fallenden Regenmenge allein auf die Grundwasserschwankungen zu schliessen, folgt ferner aus der Betrachtung, dass wir es in der Regel beim Grundwasser mit einem mächtigen unterirdischen Wasserbecken zu thun haben, das einer sehr grossen Bodenfläche entspricht (auf der Hochebene, auf der München liegt, hatte die Fläche, der ein einheitliches Grundwasserbecken entspricht, eine Ausdehnung von 1485 □Km). Auf dieser Fläche brauchen nun die Niederschlagsgrössen weder zeitlich, noch der Intensität nach gleichartig zu sein; derartige locale Verschiedenheiten mussten sich aber in dem grossen Grundwasserstrome allmählich ausgleichen und dadurch eine Incongruenz zwischen localem Niederschlag und Grundwasser herbeiführen. Es ist bekannt, dass mit der Erhebung des Bodens die Niederschlagsmenge zunimmt, es wird also ein Grundwassergebiet, das sich über eine grosse Fläche absteigend vom Gebirge gegen die Ebene hin erstreckt, in den höheren Partien eine grössere Regenmenge besitzen; dadurch wird ein fortwährender Abfluss

Es flossen ab in % der aufgefallenen Wassermenge:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	
Nach Dalton, Kies und Gartenerde (1796—98)	59,0	70,3	31,0	13,1	36,1	12,0	1,5	4,9	9,7	7,8	29,8	53,9	29,6	5,3	15,6	59,6	25,1
Nach Dickinson, sandig-kiesiger Lehm (1836—43)	70,4	78,5	66,6	21,0	5,9	1,8	1,9	1,5	14,0	49,6	84,9	104,6	30,3	1,7	54,1	83,9	42,3
Nach C. Charnock, Dolomitboden, Drainanlage (1842—46)	39,3	26,4	27,7	36,0	8,3	5,5	8,6	8,3	14,4	27,9	23,9	20,5	24,9	7,7	22,8	30,3	19,6
Görlitz (1853—56), Thon	0,9	41,4	88,6	34,3	16,2	35,6	26,3	24,9	32,7	50	9	4,1	36,1	29,3	26,5	19	28,1
Görlitz (1853—56), Lehm	0,9	40,9	90,5	17,1	51,3	51,1	53,6	33,7	35,9	45,8	12,4	35,9	52,4	45,6	28,6	29,9	41
Görlitz (1853—56), lehmiger Sand	1,8	75,4	111,4	37,1	30,6	47,5	55,3	27,2	33,3	53,3	10,1	16,5	49,7	42,4	27,9	37,7	40,5
Tharand u. Moholz, Thonboden	67,3	86,5	150,4	59,4	27,6	22,7	31,15	9,7	11,9	16,6	32,6	91,5	59	21,3	20,9	84,4	40,8
Tharand u. Moholz, Lehmboden	74,1	90,5	234,5	75,2	46,7	35,2	54,0	19,6	24,0	28,5	45,0	103,6	89,7	36,0	32,9	9,2	58,67
Nach Risler's Versuch im Grossen in Calivès bei Nyon, Schweiz (1867—68)	63,3	71,2	47,5	33,6	13,3	0,8	0,0	0,0	0,4	13,4	34,5	59,8	35,5	0,2	9,5	67,3	29,0

des Grundwassers vom Gebirge her gegen das Thal herbeigeführt, der den Einfluss der Niederschläge in den tieferen Regionen vollständig zu verdecken vermag. Analog kann auch ein gesteigerter Abfluss, eine bedeutende Wasserverminderung tiefer stromabwärts wirken.

Im Allgemeinen muss auch noch bedacht werden, dass theils in Folge des Widerstandes im Boden, theils wegen der grossen Wasserfläche, in welcher die Veränderungen vor sich gehen, die Schwankungen nur allmählich auftreten werden, damit ist nicht gesagt, dass dieselben kleiner sein müssen als die der Niederschläge, das Gegentheil wird oft genug eintreten können, sowie sich unterirdisch locale Eigenthümlichkeiten, Unebenheiten u. s. w. einstellen, die das Strombett verengern; in München sind die Grundwasserschwankungen fast 3mal so gross als die des Niederschlags, in Berlin ca. 16mal (Fig. 29); je weiter abwärts derartige Querschnittsverengerungen vorkommen, desto grösser werden die Schwankungen sein können, da ja dann eine grössere Wassermenge denselben Querschnitt passiren muss.

Im speciellen Falle wird nun bald der eine bald der andere Factor als bestimmend in die Erscheinung treten, je nach dem Ueberwiegen desselben. Am deutlichsten werden die Verhältnisse, wenn wir den Befund von 2 Orten miteinander vergleichen, die sich klimatologisch nicht unwesentlich unterscheiden, wie München und Berlin (Fig. 29—31).

Bezüglich der graphischen Darstellung sei zunächst bemerkt, dass es sich um mehrjährige Monatsmittel handelt (München 28 Jahre, 1856—83, Berlin 16 Jahre, 1870—85) und dass zur übersichtlichen Darstellung die Form des Doppeljahrs gewählt wurde, um stets eine bestimmte Zeitperiode ohne Unterbrechung in Betracht ziehen zu können. Da sehen wir zunächst eine ausserordentliche Uebereinstimmung in der Jahresperiode zwischen den Schwankungen des Niederschlags und denen des Grundwassers in München (Fig. 29 S. 303). Die Grundwassercurve geht der Niederschlagscurve fast vollständig parallel. Bei beiden beginnt das Ansteigen im Februar, das Maximum fällt in den Juni, Juli, August, nur beim Minimum ist eine kleine Abweichung, das Grundwasserminimum tritt um 3 Monate früher ein als das Niederschlagsminimum oder besser: das Grundwasser beginnt bereits anzusteigen, noch bevor die Niederschläge ihr Minimum erreicht haben. Es sei dies gleich hier erklärt. Die Monate November bis Januar, die kältesten, werden am wenigsten Wasser aus dem Boden verdunsten lassen, und die in diese Monate fallenden Niederschläge, selbst wenn sie die relativ niedrigsten sind, sind doch absolut so gross, 30—42 Mm. pro Monat, dass sie den Verlust durch

Abfluss, besonders durch Verdunstung leicht übercompensiren können (S. 299), es tritt ungefähr jener Fall ein, wie er sich im Görlitzer Versuch (S. 298) präsentirt hat; die Zuflüsse sind hinreichend, um das Grundwasser bereits zum Ansteigen zu bringen, da die Verluste des Grundwassers gering sind, vielleicht wirken auch noch Zuflüsse vom Gebirge her mit. In Berlin (Fig. 29 S. 302) scheinen dagegen die Beziehungen zwischen Niederschlag und Grundwasser vollständig zu fehlen, es ist aber auch sofort aus der Curve ersichtlich, warum; der Niederschlag ist an und für sich bedeutend geringer als in München, 571 Mm. in Berlin im Jahr gegenüber 803 in München, also in Berlin um circa 30 % geringer; er zeigt ferner keinen so ausgesprochenen, jahreszeitlichen Rhythmus, die Excursionen sind viel regelloser, die Amplituden viel geringer, die ganze Schwankung eine viel flachere. Trotzdem findet sich eine viel schärfere Ausprägung des Rhythmus im Grundwasser, dessen Absinken in die Periode des höchsten Niederschlags (Juli) fällt, und dessen Minimum sogar mit dem zweiten Niederschlagsmaximum coincidirt (October), dessen Maximum dagegen mit dem Niederschlagsminimum zusammenfällt. (Ganz analog verhält sich Bremen und Frankfurt a. M.)

Dieser Grundwasserrhythmus wird in Berlin durch einen anderen Factor bedingt, der daselbst im Gegensatz zu München dominirend in die Erscheinung tritt, und dieser Factor ist die Trockenheit der Luft und der damit im Zusammenhang stehende Gang der Verdunstung. Wir können denselben in Form des Sättigungsdeficits zur Darstellung bringen. Von der Spannung (P), welche demjenigen Wassergehalte entspricht, welchen die Luft bei einer bestimmten Temperatur bei voller Sättigung mit Wasserdampf besitzt, wird jene Spannung (p) in Abrechnung gebracht, welche bei dieser Temperatur wirklich beobachtet wurde, diese Differenz ($P-p$), das Sättigungsdeficit, ist der Ausdruck für die Trockenheit der Luft, für die Grösse der möglichen Verdunstung [1]. In Berlin (Fig. 30 S. 304) lässt sich nun ein Zusammenhang zwischen Sättigungsdeficit und Grundwasser äusserst deutlich demonstriren, dem grössten Sättigungsdeficit der Monate Mai bis September folgt (mit zweimonatlicher Verspätung) der niedrigste Grundwasserstand Juli bis November, dem niedrigsten Sättigungsdeficit der Monate October bis April folgt der höchste Grundwasserstand Januar bis Juni in einer überraschenden

---

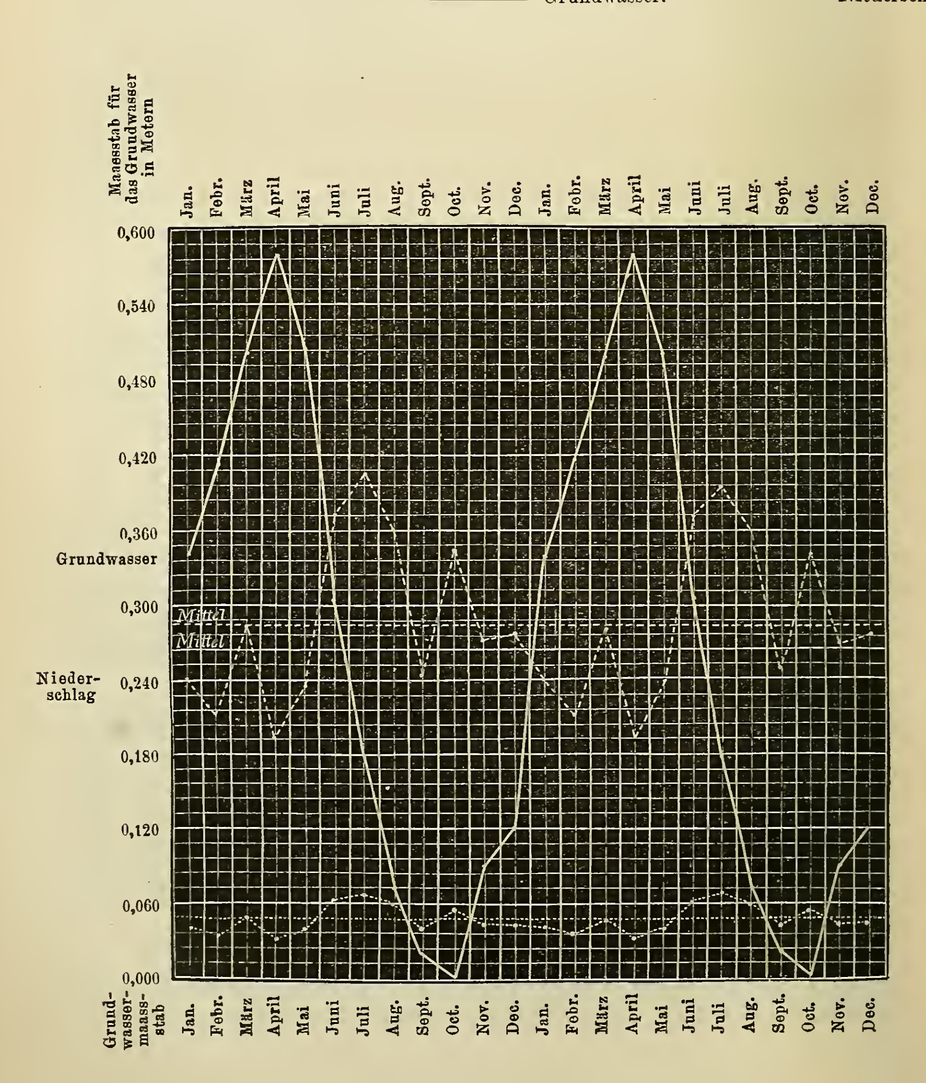
1) Vergl. Jahresberichte des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1869/70—1872/73; ferner Flügge, Hygienische Untersuchungsmethoden; Meyer (Meteorolog. Zeitschrift. 1885) und Deneke (Zeitschrift f. Hygiene. 1886).

Jahresperiode des Grundwasserstandes und

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Mittlerer Grundwasserstand über d. adriat. Meere in Metern . .	32,72	32,79	32,88	**32,96**	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	**32,38**	32,47	32,50	32,62
Mittlere Niederschlagsmenge in Mm. . . .	40,3	34,8	46,6	**32,1**	39,8	62,2	**66,2**	60,2	40,8	57,5	44,5	46,2	47,6

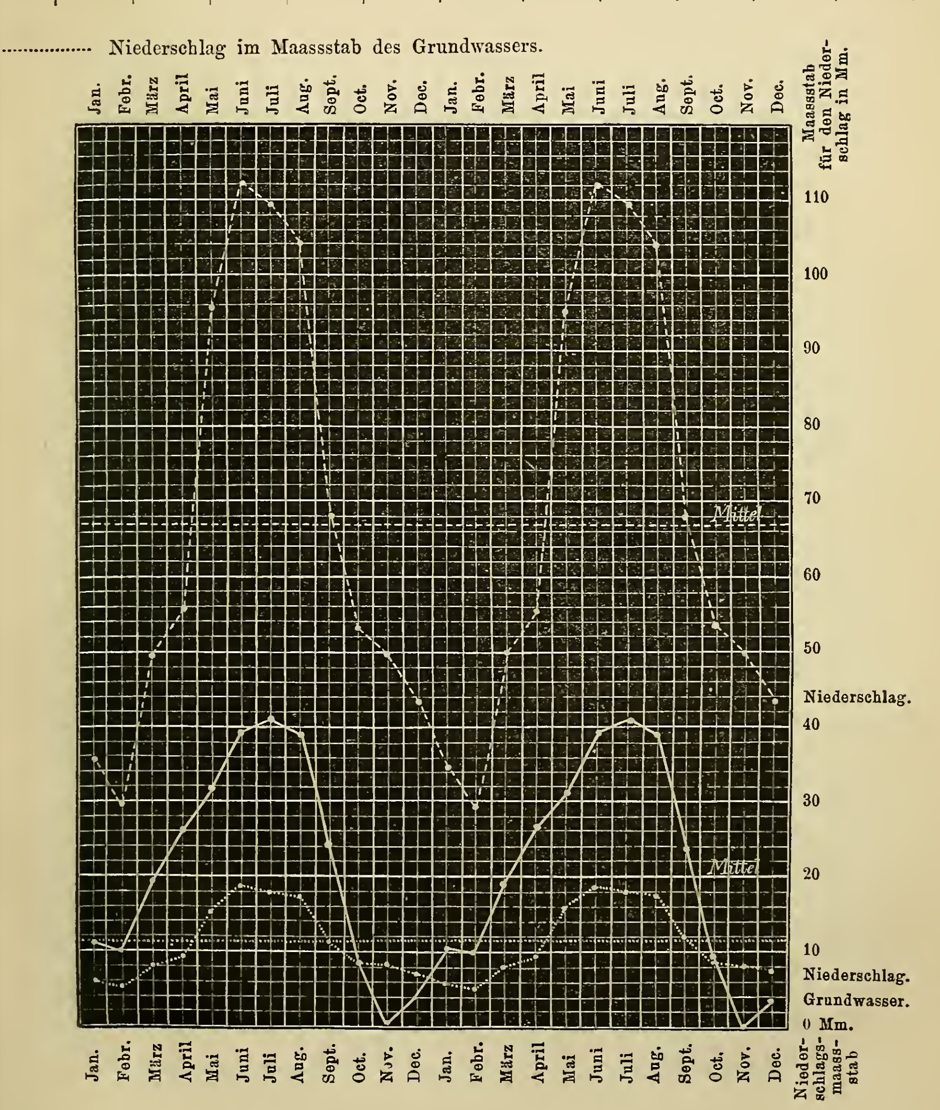
——— Grundwasser. – – – – Niederschlag.



der Niederschläge in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

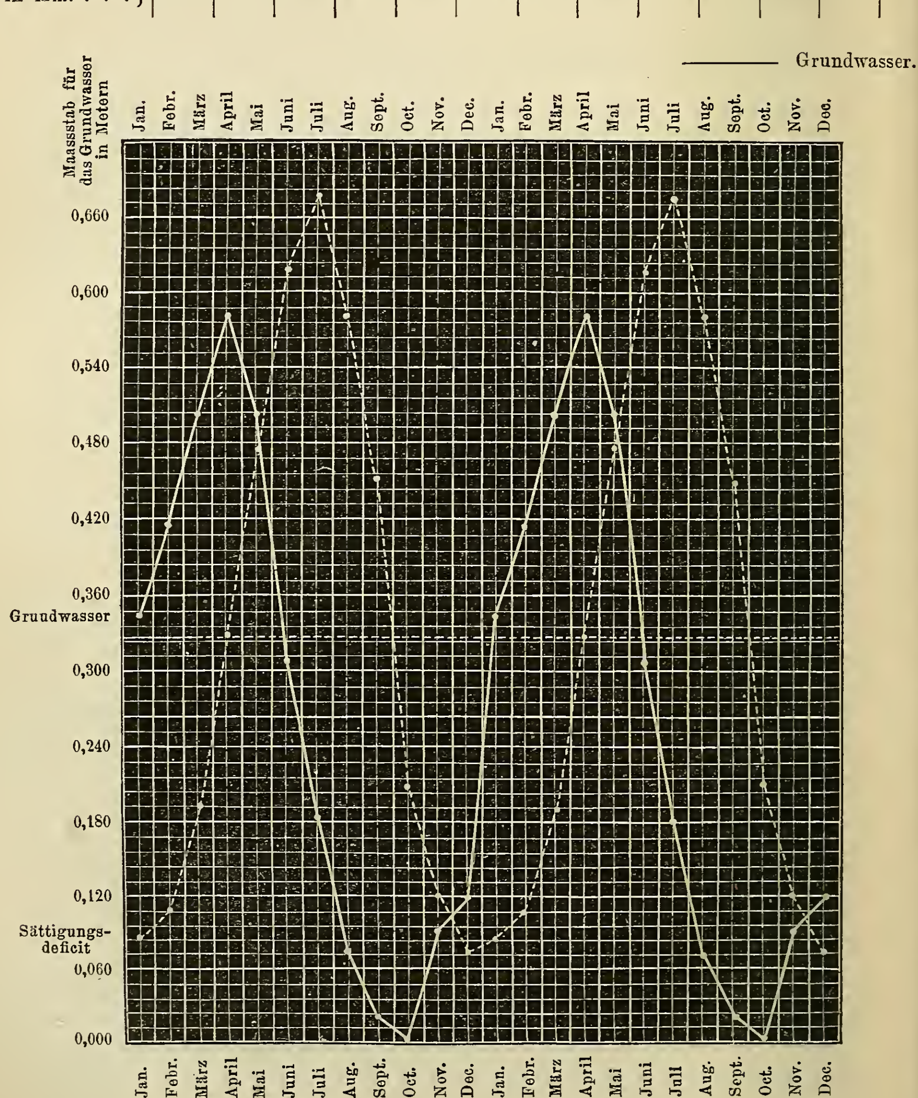
Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
515,547	515,545	515,600	515,643	515,674	515,724	**515,733**	515,723	515,629	515,539	**515,485**	515,506	515,612
53,3	**29,6**	48,5	55,6	95,1	**111,9**	108,8	104,4	68,1	53,1	50,0	42,9	66,9



Jahresperiode des Grundwasserstandes und

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Mittlerer Grundwasserstand über d. adriat. Meere in Metern . .	32,72	32,79	32,88	32,96	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	32,38	32,47	32,50	32,69
Mittleres Sättigungsdeficit in Mm. . . .	0,71	0,91	1,55	2,73	3,95	5,13	5,64	4,83	3,77	1,72	1,01	0,59	2,71

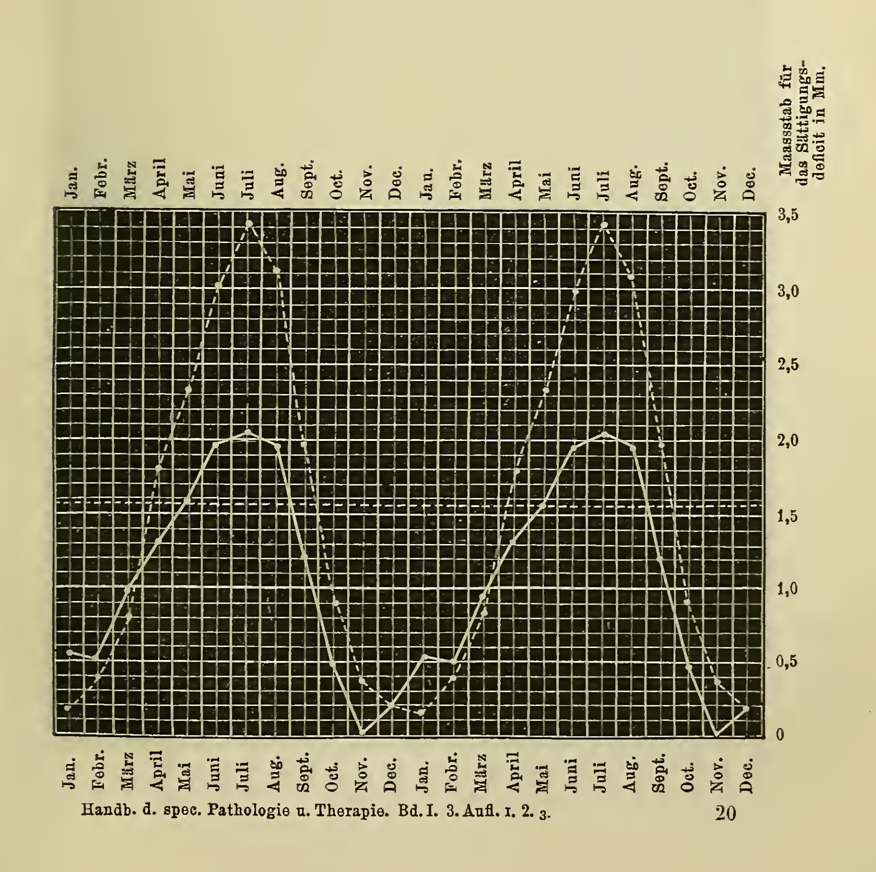


des Sättigungsdeficits in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
515,547	515,545	515,600	515,643	515,674	515,724	515,733	515,723	515,629	515,539	515,485	515,506	—
0,15	0,41	0,81	1,78	2,34	3,00	3,43	3,13	1,98	0,93	0,39	0,20	1,55

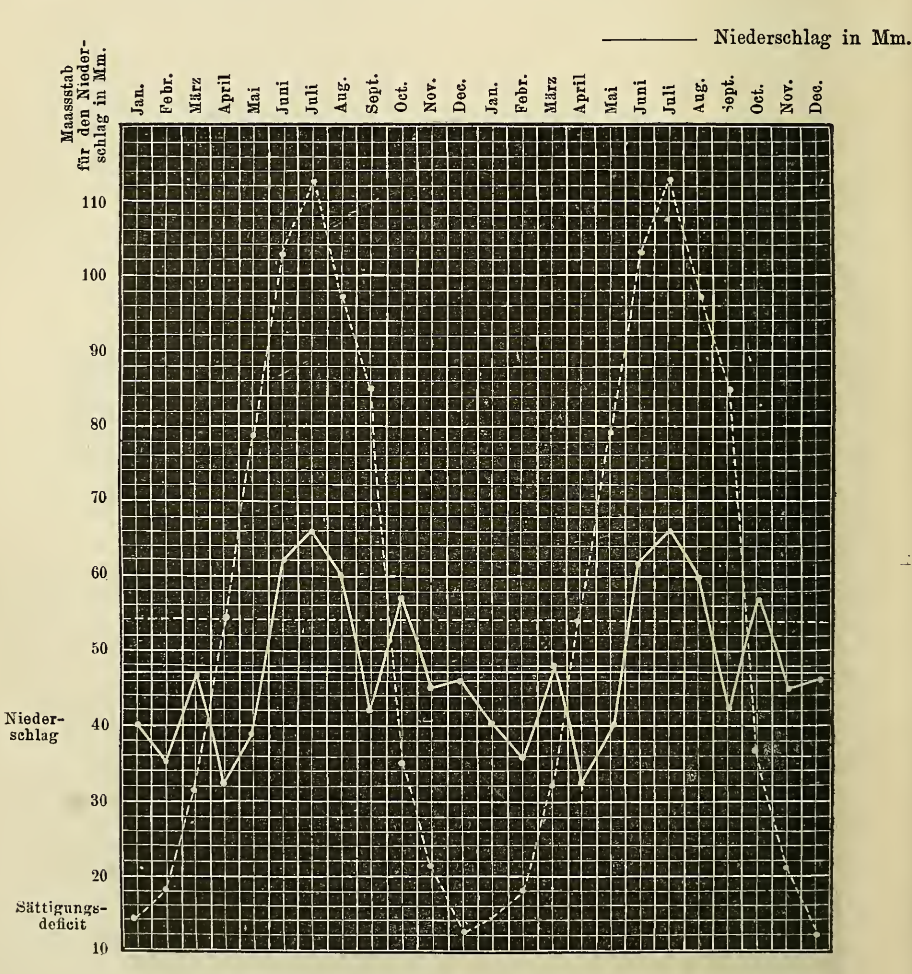
– – – – Sättigungsdeficit.



Jahresperiode des Niederschlags und des

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

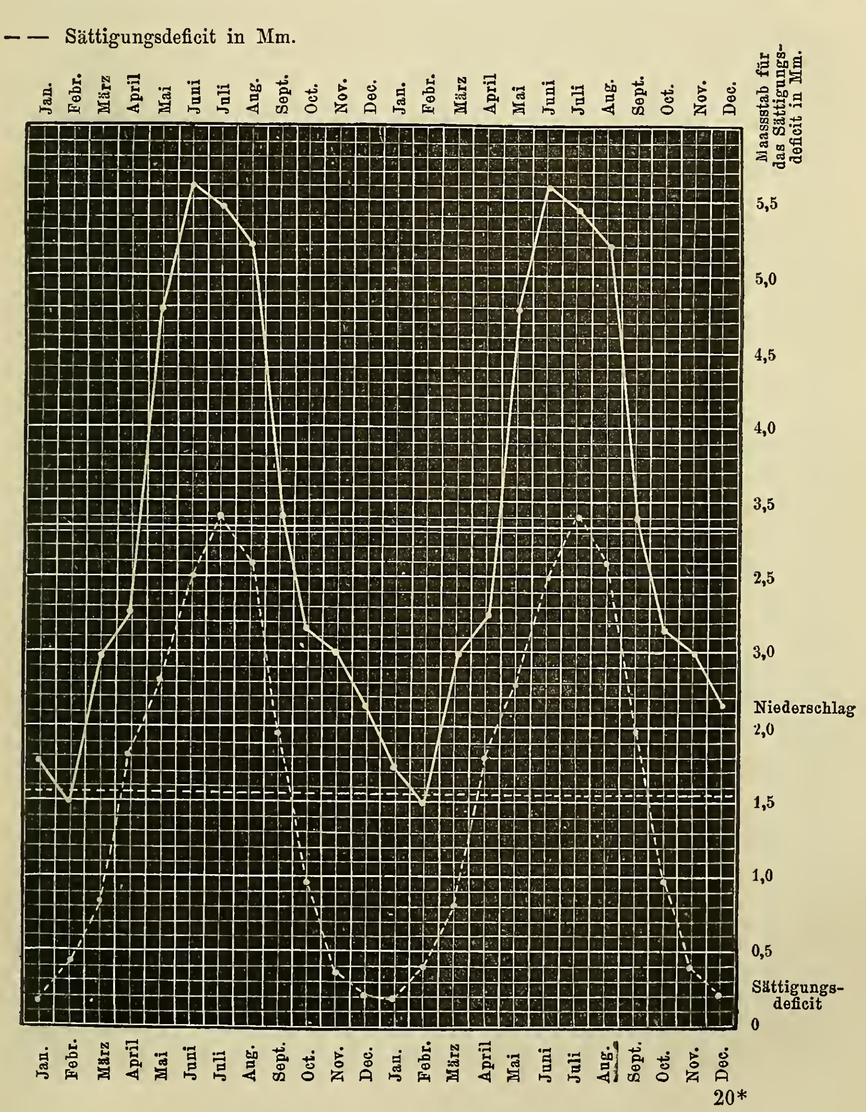
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Mittlere Niederschlagsmenge in Mm. . . .	40,3	34,8	46,6	**32,1**	39,8	62,2	**66,2**	60,2	40,8	57,5	44,5	46,2	47,6
Mittleres Sättigungsdeficit in Mm. . . .	0,71	0,91	1,55	2,73	3,95	5,13	**5,64**	4,83	3,77	1,72	1,01	**0,59**	2,71



Sättigungsdeficits in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
35,3	**29,6**	48,5	55,6	95,1	**111,9**	108,8	104,4	68,1	53,1	50,0	42,9	66,9
0,15	0,41	0,81	1,78	2,34	3,00	**3,43**	3,13	1,98	0,93	0,30	0,20	1,55



Uebereinstimmung des Rhythmus, davon sehen wir in München nichts, im Gegentheil coïncidirt hier sogar das Maximum des Sättigungsdeficits und das Maximum des Grundwassers. Dies ist kein Widerspruch, es ist sogar ein Beleg für die Richtigkeit der hier entwickelten Anschauungen, wie aus der Darstellung in Fig. 31 hervorgeht. In die Zeit des grössten Sättigungsdeficits in München fallen die höchsten Niederschläge, die auch absolut sehr hohe sind, und die dasselbe weitaus übercompensiren müssen.

Es ist aber eine besondere Beachtung auch noch den relativen Verhältnissen zwischen Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit in München und Berlin zuzuwenden. In München haben wir mächtige Niederschläge mit scharf ausgeprägtem, jahreszeitlichem Rhythmus, aber nur eine geringe Amplitude des Sättigungsdeficits, ein relativ feuchtes Klima, in Berlin dagegen sind schwächere Niederschläge mit verwischtem jahreszeitlichen Rhythmus, dagegen ein hohes Sättigungsdeficit mit ausserordentlich grosser Amplitude; dem entsprechend sind auch die Oscillationen des Grundwassers in Berlin viel mächtiger, fast zweimal so gross als in München, wo durch den Umstand, dass gerade die mächtigen Niederschläge in die Zeit der grössten, aber doch nicht sehr bedeutenden Trockenheit fallen, das Ansteigen gemildert wird und wo umgekehrt der Umstand, dass das Minimum der Niederschläge absolut noch eine bedeutende Höhe repräsentirt und dabei in die Zeit der grössten Luftfeuchtigkeit fällt, das allzu tiefe Absinken des Grundwassers hintanhält. Wir können also resumiren: In München, einer Localität mit einer grossen, deutlich rhythmischen Niederschlagsmenge, mit einer nur geringen Trockenheit der Luft und mit einer Coïncidenz des Maximums von Niederschlag und von Lufttrockenheit mit entschiedenem Ueberwiegen des ersteren beherrscht der Niederschlag die Periode der Grundwassercurve und prägt sich in ihren Schwankungen aus, in Berlin mit geringen, ziemlich regellosen, atypischen Niederschlägen, dagegen mit einem weitaus viel höheren Sättigungsdeficit sind die periodischen Grundwasserschwankungen von letzterem beeinflusst, der Regen kommt in denselben fast gar nicht zum Ausdruck. Freilich wirkt bei Berlin die Trockenheit des Sommers auch indirect auf das Grundwasser, insofern sie den Wasserstand der Spree beeinflusst, und dieser wieder auf das Grundwasser zurück wirkt (vergl. Cap. III).

Es scheinen in diesen beiden Beispielen wirklich Typen für die Beziehungen zwischen Grundwasser und atmosphärischem Wasser vorzuliegen. So verhält sich Salzburg, das klimatisch und geographisch München so nahe steht, auch bezüglich dieser Verhältnisse

vollkommen analog wie München, während wieder Bremen, Frankfurt a. M. vollkommen mit Berlin übereinstimmen [1]).

Zwei meteorische Elemente sind es also, die die periodischen Schwankungen des Grundwassers, den in der Jahreszeit gelegenen Rhythmus beherrschen, die Niederschläge und die, allerdings zumeist durch die Temperatur bedingte Verdunstung [2]). Letztere ist für das Absinken des Grundwassers von so ausserordentlicher Bedeutung, dass sie mitunter den ganzen Rhythmus der Grundwasserschwankung beherrscht und auch die Grösse der Excursionen beeinflusst, und wenn ihr bei Erörterung ihrer Rolle mit Rücksicht auf den Transport und auf die Loslösung von Organismen eine grössere Wichtigkeit beigelegt worden, so scheint dies hiermit wohl begründet.

Es wird sich aber empfehlen, auch noch die einzelnen, über dem Grundwasser befindlichen Bodenschichten nach ihren Beziehungen zum Grundwasser etwas auseinander zu halten. Hofmann [3]) theilt, dem entsprechend, die über dem Grundwasser befindliche Bodenlage in drei, sowohl nach Wassergehalt als nach ihren Wechselbeziehungen zu Niederschlags- und Grundwasserschwankungen unterscheidbare Zonen.

1. Die Verdunstungszone. Es ist die oberflächlichste Schicht, in welcher die grössten und häufigsten Schwankungen des Wassergehalts vor sich gehen, insofern als sich hier einerseits die Verdunstung etablirt, andererseits die Niederschlagsmengen, zeitweise wenigstens, den höchsten Durchfeuchtungsgrad herbeiführen können. Für den Feuchtigkeitsgehalt dieser Zone sind beide Factoren, der Niederschlag sowohl als auch das Grundwasser zeitweilig maassgebend; der Niederschlag direct, das Grundwasser insofern, als ein zum Theil durch die Verdunstung unterhaltener Capillarstrom das Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche leitet, natürlich mit wechselnder Intensität, je nach der Austrocknung, aber auch je nach dem absoluten oder relativen Hochstand des Grundwassers (Eser) [4]). Eine grössere

---

1) Soyka, Die Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Wien 1887.

2) Gewiss spielt auch die Windbewegung und vielleicht auch der barometrische Druck eine hervorragende Rolle. Es ist auch die Abhängigkeit der Verdunstung von diesen Factoren mathematisch festgestellt (Weilenmann, Oesterr. Zeitschrift f. Meteorologie. XII). Es konnte jedoch dieser Punkt hier um so leichter übergangen werden, als in dem jeweiligen Sättigungsdeficit sich ja schon die Wirkung der Luftbewegung ausspricht.

3) Archiv für Hygiene. I.

4) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII.

Austrocknung dieser Zone wird wohl auch durch den Grundwasserstand angezeigt werden, für eine Durchfeuchtung nach erfolgter intensiver Austrocknung wird aber nach dem Vorangeschickten der Niederschlag selbst ein prompterer Index sein. Es wird sich hier mitunter ein eigenthümliches Verhalten etabliren, das für den Transport von Pilzen von Bedeutung sein kann; bei starker Austrocknung werden etwa auffallende geringe Niederschläge, denen wieder eine längere Trockenheit nachfolgt, nicht im Stande sein, den Transport der Pilze in grössere Tiefen, wo sie offenbar leicht zu Grunde gehen, zu bewerkstelligen, da die Flüssigkeit in den ausgetrockneten oberflächlichen Bodenschichten festgehalten wird, es wird im Gegentheil die Möglichkeit geboten sein, dass Pilze, die sich in den vom Regen befeuchteten Bodenschichten befinden, nun erst an die Oberfläche gelangen, da ja jetzt ein capillarer Auftrieb ermöglicht ist. Wenn noch berücksichtigt wird, dass (nach S. 100) gerade jene Momente, die das Eindringen von Flüssigkeiten in die Tiefe erschweren, das capillare Aufsteigen derselben befördern, so wird es plausibel, dass nach solchen geringen, eine anhaltende Trockenheit nur kurz unterbrechenden Niederschlägen die aufsteigende Bewegung in ihrem Effect bedeutend über die absteigende überwiegen kann. Es kann dies vielleicht mit zur Erklärung jener epidemiologischen Thatsache herbeigezogen werden, warum mitunter nach lange anhaltender Trockenheit, die nur kurze Unterbrechung derselben durch einen Niederschlag, den Ausbruch einer Epidemie im Gefolge hat.

Von denselben Gesichtspunkten aus müssen dann auch noch die (nächtlichen) Condensationen in der Bodenoberfläche aufgefasst werden, die gleichfalls nur in die oberflächlichsten Bodenschichten eindringen, hier die capillare Befeuchtung herbeiführen und am Tage wieder zur Verdunstung gelangen (vergl. S. 223 ff.).

2. Die Durchgangszone, als welche Hofmann die mittlere Strecke bezeichnet, in welcher die Wasserverdunstung nicht mehr zur Geltung kommt, oder sagen wir vielleicht besser, nicht mehr direct zur Geltung kommt. In ihr ist jener Wassergehalt vorhanden, der — eine Folge der Capillarität — eintritt, wenn dem Boden ein gewisser Ueberschuss von Wasser zur Verfügung gestellt wird bei freiem Abfluss nach unten, der also der absoluten Wassercapacität des Bodens entspricht. Dieser Wassergehalt wird sich in dieser Zone stets auf einer gewissen Constanz erhalten. Ein Ueberschuss wird abfliessen, ein Deficit kann von unten her durch capillares Nachsteigen gedeckt werden. Dagegen dürfte auch hier kaum ein voll-

kommenes Stagniren des Wassers vorkommen; durch das als Folge der Verdunstung zu constatirende capillare Aufsteigen des Wassers muss auch hier eine fortwährende, wenn auch nur minimale Bewegung eintreten.

Wenn nun auch der Wassergehalt dieser Zone stets ein constanter ist, so wird dagegen eine um so grössere Inconstanz in den Grenzen derselben auftreten, für welche gerade das Grundwasser der geeignetere Maassstab sein wird. Bei starker Durchfeuchtung des Bodens, beim Ansteigen des Grundwassers wird die obere Grenze weiter hinauf rücken, beim Austrocknen, beim Sinken des Grundwassers wird sie sich nach unten verschieben; der Regen wird diese Zone erst dann beeinflussen, wenn er auch wirklich die ganze Verdunstungszone durchdrungen, dann aber muss er auch aus dieser mittleren Zone gegen das Grundwasser abfliessen und dieses zum Steigen bringen.

3. Die Zone des capillaren Grundwasserstandes; diese entspricht einer Durchfeuchtung, wie sie erhalten wird, wenn sämmtliche Capillarräume mit Wasser erfüllt sind, auch jene, die in den etwas höheren Schichten in Folge der der Capillarität entgegenwirkenden Schwere leer werden müssen; es wird dieser Zustand als volle oder grösste Wassercapacität bezeichnet.

Wohl wird der Wassergehalt dieser Schicht, ganz so wie der nächst oberen constant bleiben, indem er der vollen Wassercapacität entspricht, allein mit dem Fallen und Steigen des Grundwassers wird gerade in diesen beiden Schichten eine Verschiebung nach unten oder oben eintreten, und beim Steigen schliesslich auch ein Theil der Verdunstungszone in das Bereich der capillaren Sättigung hineingezogen werden.

Die Schwankungen des Grundwasserstandes sind also vielfach als das Resultat zweier einander entgegen arbeitender Naturerscheinungen, der Verdunstung und der Niederschläge, zu betrachten. Das Ansteigen des Grundwassers ist das Resultat der grösseren Durchfeuchtung der oberen Bodenschichten, die Durchgangszone muss einen grösseren Ueberschuss an Wasser erhalten haben, den sie der tieferen Zone des capillaren Grundwasserstandes abgibt; diese letztere rückt dabei nach oben, ebenso die Durchgangszone, die Verdunstungszone auf eine kleinere Schicht beschränkend. Wir haben nun trotz dieses Ansteigens des Grundwassers eine Wasserbewegung im Boden mit absteigender Tendenz; es ist dies kein Widerspruch gegenüber dem Aufsteigen des Grundwassers: das Aufsteigen ist nichts als die Folge des Umstandes, dass die undurchlässige Schicht

die von oben her gesteigerten Zuflüsse am weiteren Versickern verhindert und dass das in die Tiefe abfliessende Wasser sich oberhalb ihrer ansammelt; durch diese nach abwärts gerichtete Bewegung des Wassers wird aber auch den aufwärts strebenden capillaren Strömungen entgegengearbeitet. Umgekehrt wird ein Sinken des Grundwassers anzeigen, dass die Verdunstung überwiegt, die Verdunstungszone wird grösser, ihre Grenze rückt in grössere Tiefe, die Durchgangszone verliert an Wasser, das durch die Verdunstungszone an die Oberfläche transportirt wird, die erste Zeit jedenfalls auf dem Wege der Capillarität (vergl. S. 222), und trotz des „Sinkens“ des Grundwassers hat die Bewegung des Wassers im Boden eine aufsteigende Tendenz. Wir können uns gewissermaassen vorstellen, als saugte die Sonnenwärme das Wasser aus dem Boden, wodurch natürlicher Weise das Niveau des Grundwassers sinken muss. Das Sinken des Grundwassers ist also nicht eine Abwärtsbewegung desselben, sondern nur der Ausdruck für die Wasserabnahme, die an der Oberfläche in Dampfform, in den unterhalb der Oberfläche befindlichen Schichten dagegen in Form von aufsteigenden capillaren Strömungen vor sich geht, die zum Ersatz des von der Oberfläche verdunstenden Wassers herbeiströmen; wir haben die so beim Sinken des Grundwassers eintretende Niveauerniedrigung zu vergleichen mit einer solchen, wie sie in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe vor sich geht, dem man durch Saugen Flüssigkeit entnimmt.

In diesen Fällen ist demnach der Grundwasserstand gewissermaassen als eine Resultirende zwischen Niederschlag und Verdunstung zu betrachten. Diese Wechselbeziehungen haben aber nicht überall Geltung, insbesondere können die Beeinflussungen von Seite der Flüsse dieselben stören. Dort allerdings, wo die Flüsse in ihrem Wasserstande den localen meteorischen Factoren folgen (Wasserabnahme im Sommer durch Verdunstung, Spree, Main, Weser), braucht hierdurch das Bild nicht verwischt zu werden, die Verhältnisse verlieren jedoch an Klarheit, sowie der beeinflussende Strom in seinem Wasserstande von meteorischen Factoren beherrscht wird, die weit vom Orte der Grundwasserbeobachtungen sich abspielen und einen anderen Charakter zeigen, so z. B. in Wien, wo die Donau in der heissen Zeit vom Gebirge her starke Zuflüsse bekommt und demgemäss ihr Maximum im Juni bis Juli zeigt.

Die Schwankungen des Grundwassers liefern uns durch ihre eventuelle Coincidenz noch einen Anhaltspunkt für die S. 269 entwickelte Anschauung über den Zusammenhang der Grundwasserströmungen innerhalb gewisser geologisch einheitlicher Gebiete.

In dem Münchener Becken sind von Pettenkofer seit 1858 resp. 1861 Untersuchungen der Grundwasserstände innerhalb eines Gebietes gemacht worden, das in der Richtung von Ost nach West eine Ausdehnung von 2,7 Meilen = 20 Km. repräsentirt. Der Reihe nach (München als Centrum) sind diese Ortschaften:

	Richtung von München	Entfernung von München in Km.	Ueber dem Meere in Metern
Strasstrudering . .	östlich	8,3	528
Kirchtrudering . .	"	8,3	527
Berg am Laim . .	"	5,6	528
München	—	—	521
Pasing	westlich	7,7	526
Aubing	nordwestl.	10,9	526
Lochhausen	"	11,9	517

Die Isar trennt die beiden Gruppen von einander, und dies prägt sich wohl in dem Rhythmus aus, trotzdem aber ist die Uebereinstimmung der Schwankungen eine ausserordentliche (Tabelle u. Fig. 32). Vollständig trifft sie zu für die tiefsten Stände der Jahre 1863, 1870, nahezu vollständig für die Jahre 1866, 1874, 1879, wo einzelne Brunnen ein Voranschreiten oder Zurückbleiben um ein Jahr zeigen. Ferner ist die vollständige Uebereinstimmung vorhanden bei den höchsten Ständen der Jahre 1861, 1864, 1871, nahezu vollständig 1867, 1877, und der ganze Parallelismus spricht sich ja in der Zeichnung (Fig. 32, S. 314) aufs Deutlichste aus.

Die beiden Brunnen München und Lochhausen, unter einander ziemlich übereinstimmend, zeigen einen etwas anderen Charakter, indem die Amplituden viel geringer ausfallen. Diese beiden Brunnen liegen bereits am weitesten nach Norden gegen den Abfluss des Grundwassers zu und zeichnen sich auch durch die grössere Tieflage des betreffenden Höhenbestimmungsorte aus, durch eine beckenartige Vertiefung, die eine grössere Beständigkeit des Wasserniveaus herbeiführt. Lochhausen speciell, der nördlichst gelegene Beobachtungsort, liegt bereits am Beginne jenes Theils der Hochebene, wo der Glacialschotter so sehr an Mächtigkeit abgenommen hat, dass hier bereits reich-

Abstand des Grundwassers vom Fixpunkt:

	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870
Strasstrudering Nr. 25	2,95	4,58	4,99	4,50	4,88	6,68	4,39	3,65	4,66	5,40
Kirchtrudering " 28	4,10	5,59	5,84	5,38	5,78	7,57	5,23	4,55	5,50	6,23
Berg am Laim " 48	5,35	6,63	6,87	6,39	6,75	8,14	6,11	5,84	6,48	8,41
Pasing " 35	—	8,62	8,85	6,96	9,70	8,97	6,48	8,38	9,61	9,78
Aubing " 53	0,55	0,97	1,29	0,85	1,43	2,16	0,38	0,77	1,11	1,55
Lochhausen Siegerer .	5,76	6,10	6,39	6,01	6,51	6,23	6,11	6,28	6,12	6,37

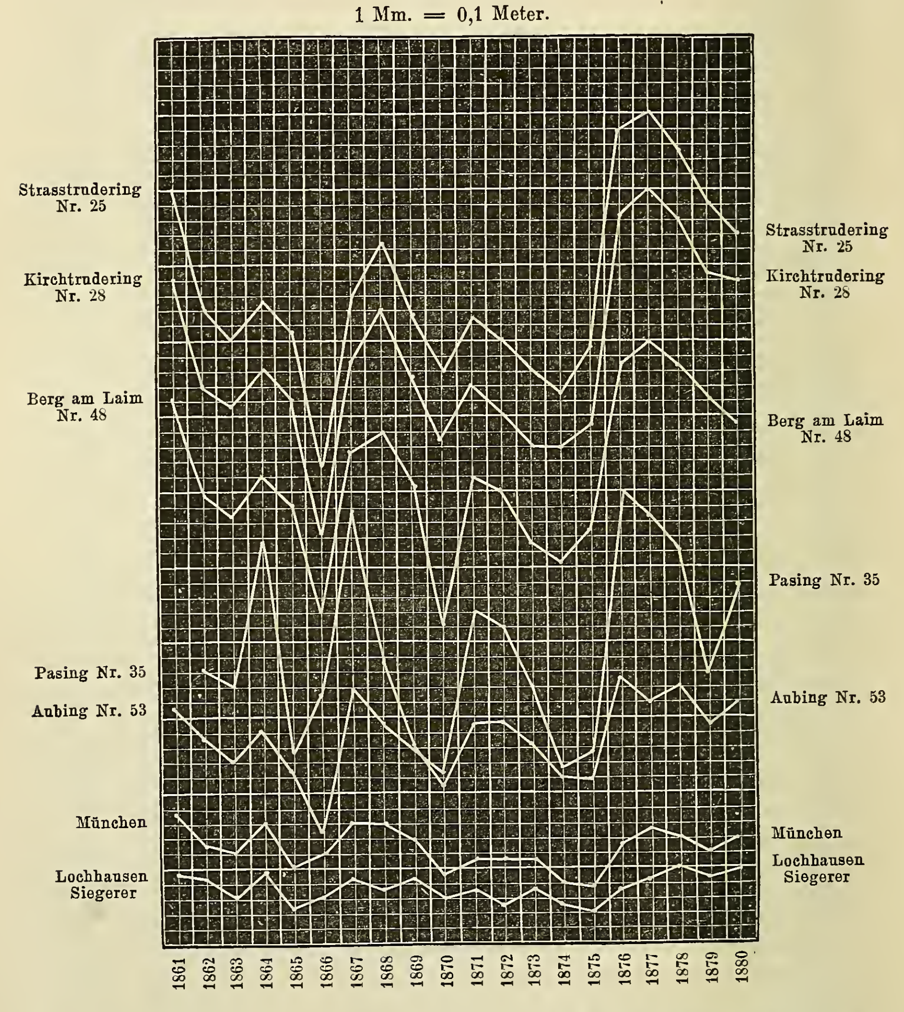
	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880
Strasstrudering Nr. 25	4,60	4,93	5,37	5,63	5,08	2,19	1,96	2,42	3,20	3,53
Kirchtrudering " 28	5,53	5,94	6,37	6,37	6,09	3,31	2,96	3,36	4,08	4,19
Berg am Laim " 48	6,41	6,60	7,25	7,53	7,06	4,90	4,58	4,91	5,41	5,66
Pasing " 35	7,87	8,04	8,84	9,90	9,76	6,23	6,57	6,49	8,66	7,42
Aubing " 53	0,79	0,75	1,10	1,47	1,53	0,18	0,45	0,28	0,81	0,49
Lochhausen Siegerer .	6,28	6,46	6,25	6,47	6,60	6,22	6,11	5,94	6,08	6,01

lich Quellen erscheinen, und wo auch das Grundwasser bereits zu Tage tritt, sich verbreitet und zur Moosbildung (Dachauer Moos) führt. Wenn wir nun bedenken, dass diese Messungen nur einmal jährlich vorgenommen

Fig. 32.

Grundwasserschwankungen auf der Hochebene von München.
1861—1880.

1 Mm. = 0,1 Meter.



wurden bei Brunnen, die ausser der Controle der Beobachter standen, so müssen wir die Uebereinstimmung als eine überraschend grosse ansehen, die eine wesentliche Stütze für die einheitliche Auffassung des Grundwasserstromes ergibt.

9. Besondere Formen der Wasseransammlung im Boden.

Moore und Sümpfe.

Unter einer besonderen, längere Zeit verkannten Form erscheint das Grundwasser in den Mooren.

Es wurde schon (S. 273) hervorgehoben, dass die Neigung der undurchlässigen Schicht, auf welche das Grundwasser abfliesst, nicht einen gleichen Schritt hält mit der der Oberfläche, so dass allmählich das Grundwasser der Oberfläche immer näher zu kommen scheint. Die Sohle des Münchener Beckens neigt sich auf der 30 Km. langen Strecke zwischen Thalkirchen bis Pulling (bei Freising) um 73 Mt., während die Grundwasserhorizontalen nur eine Differenz von 64 Mt. zeigen; am entgegengesetzten Ufer der Isar fällt das Terrain auf dieselbe Distanz um 182, das Grundwasser nur um 97 Meter [1]).

Mit dieser Abnahme der Mächtigkeit der den Flinz überdeckenden Schichten kann es endlich dazu kommen, dass sich die Coten des Grundwasserspiegels mit jenen des Terrains fast decken, und dass das Grundwasser zu Tage tritt.

Die Entstehung dieser Ansammlungen, die nun meist auf dem schon wenig geneigten Flinz auftreten, in dem kein entschiedener Thalweg ausgeprägt erscheint, wird noch durch die benachbarten Flüsse begünstigt, indem dieselben, mit nicht allzu grossem Gefälle über ihre durchlässigen Alluvionen hinwegfliessend, je nach dem Pegelstande einen Theil ihres Wassers durchsickern lassen; zugleich versperren die Geröllablagerungen den zufliessenden kleineren Gewässern die Einmündung. Diese werden in Folge dessen zurückgestaut, und durchfeuchten um so stärker den Thalgrund, als sie häufig veranlasst sind, der Richtung des Hauptflusses eine Strecke weit zu folgen. Sie erscheinen also als ein in eine Thalsenke zurückgestautes Bodenwasser, das im Allgemeinen keine grossen Schwankungen zeigt (vergl. S. 314).

Genetisch auseinander zu halten von diesen Mooren, die auch als Quell-, Stau- und Infiltrationsmoore bezeichnet werden, sind die sogenannten Muldenmoore, Ausfüllungen von Depressionen im impermeablen Boden, Ueberbleibsel untergegangener Seen, die dann schon den Uebergang zu den Sümpfen bilden.

Wir verstehen unter Sumpf eine Ansammlung von stagnirenden, mit pflanzlicher Vegetation bedeckten Wassermengen, nach E. Ré-

1) Chr. Gruber, Das Münchener Becken. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. I. 4. 1885.

clus[1]) sind es „Seen von geringer Tiefe, deren stagnirendes oder nur sehr schwach bewegtes Wasser, wenigstens in der gemässigten Zone, mit Binsen, Schilf, Carex erfüllt und zuweilen mit Bäumen umsäumt ist, die ihre Wurzeln in Schmutz zu tauchen lieben"; es dürfte aber schwer sein, eine präcise Unterscheidung zwischen Seen und Sümpfen zu machen, weil das Niveau dieser Wasserbecken nach Jahreszeiten und Jahren schwankt, und die Mehrzahl der Seen, hauptsächlich die der Ebenen, in Form von seichten Buchten, die wahrhaftigen Sümpfen entsprechen, auslaufen, und so oft vollständig von Sümpfen umgeben sind. Ebenso durchfliessen manche Flüsse oft niedrige Gegenden, in denen sich temporäre oder permanente Sümpfe bilden, deren unbestimmte Grenzen unaufhörlich mit dem Niveau des Flusses sich ändern. Endlich sind auch die schwach geneigten Meeresküsten auf grosse Ausdehnung hin mit Sümpfen bedeckt, die im Allgemeinen durch niedrige, von den Wogen aufgeworfene Sandhügel vom hohen Meere getrennt sind und in denen man Brackwasser in der verschiedenartigsten Concentration vorfindet.

Als Bedingungen der Sumpfbildung ergeben sich folgende Momente:

Eine impermeable Schicht, auf der sich das Wasser ansammeln kann; dieselbe kann entweder direct und allein als Boden, Bett des Sumpfes dienen, oder kann auch noch in einer gewissen Höhe von einer eventuell sehr durchlässigen Bodenschicht bedeckt sein. Auf diese Weise kann also auch in einem sehr permeablen Boden Sumpfbildung vorkommen.

Eine derartige Configuration der undurchlässigen Schicht, dass der Abfluss des sich ansammelnden Wassers vollständig gehemmt oder sehr erschwert ist; dies erfolgt

a) durch zu geringe Neigung dieser Schicht oder durch Bildung von Becken, Mulden oder natürlichen Reservoirs.

b) Der mangelnde oder erschwerte Abfluss des Wassers kann aber auch dadurch hervorgerufen sein, dass dasjenige Wasserreservoir (Bach, Fluss, Meer), in welches der Erguss stattzufinden hat, sein Bett erhöht durch Anschwemmung, künstliche Wasserbauten u. s. w. und dadurch stauend wirkt. Findet eine solche Betterhebung in einem Hauptflusse statt, so staut das Wasser in die Seitenflüsse zurück, und werden dann die Gelände der letzteren allmählich dieselben Veränderungen erleiden. Mitunter tritt auch die Erscheinung auf, dass vorhandene Teiche und Seen durch in sie einmündende Bäche und Flüsse, welche Geschiebe

1) E. RÉCLUS, La Terre. I. p. 548.

mit sich führen, nach und nach ganz oder doch theilweise ausgefüllt werden. Bevor dies vollständig erreicht wird, wird der Boden, wenn er sich bis nahe an die Oberfläche erhöht hat, mit Wasserpflanzen bewachsen, und damit beginnt die Entstehung der Versumpfung. Auch können Anschwemmungen am Orte der Ausmündung, Pflanzenvegetationen, Pflanzenbarren den Abfluss beeinträchtigen.

Als Quellen des Wassergehalts der Sümpfe müssen Niederschläge angesehen werden, die dann in einem bestimmten Ueberschuss gegenüber der Verdunstung und der Abflussmenge vorhanden sein müssen. Diese Niederschläge können entweder direct der Localität angehören, auf welcher sich der Sumpf etablirt, oder sie können auch von der Umgebung, den benachbarten Höhen ober- oder unterirdisch zugeführt werden. Auf diese Weise kann auch das Grundwasser schliesslich zur Versumpfung einer Localität führen, wenn es auf einer Bodenschicht zu Tage tritt, die demselben keinen oder nur einen erschwerten Ablauf gestattet.

Aber auch Bäche, Flüsse und Meere liefern den Sümpfen das Wasser theils durch Ueberschwemmungen, theils durch seitliche Einsickerung des Wassers, besonders wenn sich in der Nachbarschaft Becken, Mulden befinden, die als Reservoire das Wasser aufnehmen. Die Wasseransammlung wird um so grösser sein, wenn die erwähnten Zustände der Flussbetterhöhung eintreten.

10. Zur Bedeutung der Grundwasserschwankungen.

Die hygienische Bedeutung der Grundwasserschwankungen wird in verschiedenen Momenten gesucht, von denen wohl sicher viele erst in combinirter Wirkung zur Geltung kommen.

Es wurde vielfach auf die Aenderungen in den Beziehungen zwischen Luft und Boden hingewiesen, die sich durch die Veränderung des Wassergehalts im Boden ergeben. Beim Ansteigen des Grundwassers werden früher lufthaltige Schichten durch Anfüllung mit Wasser luftleer; beim Absinken tritt das Umgekehrte ein.

Auch die Aenderungen in den Permeabilitätsverhältnissen wurden in Betracht gezogen, die dann entstehen, wenn beim Sinken des Grundwassers nicht blos neue Bodenschichten für Luft zugänglich werden, sondern solche, die, früher schon etwas permeabel, nun durch weitere Verminderung des Wassergehalts ihre Permeabilität ausserordentlich steigern (S. 45). Der Ablauf gewisser, mit der An- oder Abwesenheit von Sauerstoff verknüpfter Zersetzungsvorgänge, sowie mancher Lebensvorgänge niederer Organismen musste hierdurch modi-

ficirt, die Communication mit der Oberfläche begünstigt und vermehrt werden, wenn auch solche Veränderungen nur ganz allmählich eintreten.

Es ist gegenüber diesen Erwägungen auf die Ausführungen von S. 218 hinzuweisen, nach welchen die Luftcirculation im Boden auf den Transport von niederen Organismen aus der Tiefe an die Oberfläche kaum von Bedeutung ist.

Wichtiger sind vielleicht die mit zunehmender Austrocknung des Bodens sich etablirenden Sprünge, Risse (S. 124), die in grössere Tiefen reichen und eine directe Communication mit tieferen Schichten und einen directen Transport von Keimen aus denselben ermöglichen (vergl. S. 41 die Erfahrung bezüglich des Malariabodens in Italien).

Auch auf den Wechsel in der Concentration der im Boden enthaltenen löslichen Stoffe, sowie auf das durch die Feuchtigkeitsschwankungen bedingte wechselnde Verhalten zur Wärme wird aufmerksam gemacht, als auf Momente, die insofern einen Einfluss haben können, als sie wieder die Lebensthätigkeit niederer Organismen beeinflussen.

Mit Rücksicht auf die organisirte Natur der Infectionserreger und die Abhängigkeit ihrer Entwickelung und Lebensthätigkeit ist die von Pettenkofer festgestellte Thatsache von grosser Bedeutung, dass wir in den Grundwasserschwankungen einen Maassstab für die Feuchtigkeit der oberhalb des Grundwassers befindlichen Bodenschichten besitzen. Freilich muss hier die Einschränkung Platz greifen, dass dieser Maassstab nur unter gewissen Verhältnissen gegeben ist (vergl. S. 311), und dass es noch ausgedehnter specieller Untersuchungen bedarf, um aus den Grundwasserschwankungen etwa auf jenes biologische Optimum zu schliessen, das, wenigstens bei manchen Organismen, die Bildung von Dauerformen (S. 232) beschleunigt. Das Grundwasser kann uns aber in allgemeinen Fällen, wo es nach Pettenkofer als Maassstab für den Feuchtigkeitsgrad der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten zu gelten hat, als ein weiterer, nicht minder wichtiger Index gelten, als ein Maassstab für die Richtung, in welcher gewisse capillare Strömungen in den obersten Bodenschichten vor sich gehen. Ein anhaltendes Sinken des Grundwassers ist der Ausdruck für andauernde, nach aufwärts gerichtete Bewegungen des Bodenwassers, für anhaltende und mächtige, aufsteigende capillare Strömungen, die gerade in den obersten Bodenschichten sich immer wieder erneuern müssen, wo nächtliche Condensationen und zeitweilige Niederschläge immer wieder eine Anfeuchtung hervorrufen, eine capillare

Erfüllung der Hohlräume, die dann aber nicht in grössere Tiefen hinabsteigt, sondern bei der sich immer mächtiger entwickelnden „Verdunstungszone“ (Hofmann), nur in den oberflächlichsten Bodenschichten verharrt, und daselbst rasch wieder zur Verdunstung gelangt (vergl. S. 309).

Die Bedeutung dieser Vorgänge für den Transport, den Austritt von Organismen ist auf S. 221 ff. ausführlich auseinandergesetzt worden; es kommt aber noch ein weiteres begünstigendes Moment hinzu, die mit dem Wachsen der Verdunstungszone immer mehr zunehmende Möglichkeit der Verstäubung der obersten Bodenschichten.

Umgekehrt muss das anhaltende Steigen des Grundwassers als der Ausdruck einer fortdauernden Abwärtsbewegung des Wassers im Boden angesehen werden bei immer abnehmender Verdunstungszone, eine Abwärtsbewegung, der dann auch die Organismen sich anschliessen und auf diesem Transporte wohl bald zu Grunde gehen.

Aus diesen Erwägungen geht auch hervor, warum ein Absinken des Grundwassers, das künstlich durch gesteigerten Abfluss hervorgebracht wird, von ganz anderem Gesichtspunkte betrachtet werden muss. Es kann vorerst ganz ohne jeden Einfluss sein, da es ja nicht das Resultat der Verdunstung und der durch sie bedingten capillaren Aufwärtsbewegung des Wassers ist, im Gegentheil, dadurch, dass es drainirend wirkt, dass es in den Wassermassen des Bodens eine absteigende Bewegung bewirkt, kann es von ähnlichen Erscheinungen begleitet sein, wie das Ansteigen des Grundwassers, und die wohlthätigen Folgen der Drainirung des Bodens und der damit einhergehenden Regulirung des Grundwasserstandes sind vielleicht darauf zurückzuführen, dass hierdurch die Abwärtsbewegung des Wassers im Boden befördert und erleichtert wird.

Für die Wahl der Brunnen, oder der Beobachtungspunkte für Grundwasser überhaupt, sind aus diesen Gründen für hygienische Zwecke etwas andere Gesichtspunkte maassgebend als für bautechnische; es müssen alle Momente eliminirt sein, die den Grundwasserstand allein oder in etwas anderer Weise beeinflussen als die Bodenfeuchtigkeit; es muss deshalb auf die Configuration der undurchlässigen Schicht, ihren Abfall, auf die Beziehungen des Grundwassers zum drainirenden Wasserlauf, zum Niederschlag, zur Verdunstung Rücksicht genommen werden. Gerade in der Nähe der Flüsse ist ein Moment gegeben, welches oft die Benutzung des Grundwasserstandes als oben erwähnten Maassstab unmöglich macht (S. 311).

Brunnen und Stationen, die innerhalb der Stauhöhe von Flüssen liegen, sind für hygienische Zwecke nur mit äusserster Vorsicht zu verwerthen. Das Steigen und Fallen von Flüssen erfolgt vielfach aus ganz anderen als rein localen Gründen; es werden mit demselben die Niederschläge aus weit entfernten Gebieten abgeführt, und fehlt auch deshalb vielfach, wie

S. 312 gezeigt wurde, die Uebereinstimmung mit dem Grundwasserstand. Es ist deshalb nothwendig, bevor man einen Brunnen zu Beobachtungszwecken auswählt, denselben auf den Brunnenspiegel einzunivelliren. Kommt der Brunnenspiegel dem Flussspiegel sehr nahe, so ist er meist für hygienische Grundwasserbeobachtungen nicht geeignet.

Von nicht geringer Wichtigkeit ist es ferner, zu wissen, ob vielleicht mehrere wasserführende Schichten über einander liegen (Cap. III Berlin und Paris). Es gibt Orte, an denen man in geringer Tiefe (10—12′) schon auf Wasser stösst, welches aber für gewöhnlich nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, sodass man es für Anlage von Pumpbrunnen nicht benutzen kann. Man muss dann oft noch 20 und 30′ tiefer gehen, um in Schichten zu gelangen, welche so viel Wasser führen, dass sie den Bedarf für gewöhnliche Pumpbrunnen liefern können (Unterschichtquellen S. 250). Das oberhalb befindliche Wasser führt an manchen Orten den Namen „Schichtwasser“, auch „Schwitzwasser“. In solchen Fällen ist es gerade von hervorragender hygienischer Wichtigkeit, auch dieses Schichtwasser während verschiedener Jahreszeiten und Jahre zu beobachten und eigens einige Brunnen für diese Beobachtungen anzulegen, welche blos bis zur Tiefe des Schichtwassers niedergehen. Diese Brunnen können durch Jahre hindurch einen höchst unbedeutenden Wasserstand zeigen, vielleicht ganz wasserleer sein; aber dann können Zeiten kommen, in welchen das Wasser in ihnen 3 und 4′ höher steht. Im Allgemeinen sind aber Brunnen mit derartig wechselnden Bodenschichten zu Grundwasserbeobachtungen nicht recht geeignet: dort, wo z. B. zwischen Oberfläche und Brunnenspiegel undurchlässige Schichten eingeschaltet sind, kann die Höhe desselben nicht mehr als ein richtiges Maass für die Feuchtigkeit der oberflächlichen Bodenschichten angesehen werden [1]).

Von den Grundwasserschwankungen als Momenten der örtlichen und zeitlichen Disposition für die epidemische Ausbreitung von Krankheiten siehe „Volkskrankheiten“ Cap. III.

DRITTES CAPITEL.

Zur Beurtheilung des Bodens.

Die Beurtheilung eines Bodens vom hygienischen Standpunkte kann nicht in der Weise, wie dies in früherer Zeit versucht worden, erfolgen, dass man etwa die einzelnen Bodenarten, wie Thonschiefer, Kalkstein, Kreide, Kies u. s. w., als gesund oder ungesund classificirt (vergl. S. 237). Es kann eine jede dieser Bodenarten durch gewisse Verhältnisse insaluber werden, und die Erfahrung hat auch andererseits gezeigt, dass manche ursprünglich sehr insalubre Bodenarten vollständig assanirt wurden.

1) PETTENKOFER, Die Bewegung des Grundwassers in München. Sitzungsber. d. k. bayr. Acad. d. Wissenschaften. 1862, und Aerztl. Intelligenzblatt. 1857.

Wenn wir im Allgemeinen eine Beurtheilung versuchen, soweit es die, mit Rücksicht auf die gesonderte Behandlung der „Volkskrankheiten" gebotene Beschränkung gestattet, so kann sie nur von jenen Gesichtspunkten ausgehen, ob niedere und speciell pathogene Organismen im Boden vorhanden sind oder in denselben hinein gelangen, sich dort entwickeln oder conserviren und wieder an den Menschen gelangen können.

Mit Rücksicht darauf können wir gleich zwei grosse Gruppen schaffen, die sich deutlich von einander sondern lassen, die impermeablen und die permeablen Bodenarten. (Diesem Gesichtspunkte ist auch bei den Fig. 20, 34, 36 u. 37 verzeichneten Profilen gerecht geworden.) Insofern dem impermeablen Boden die Fähigkeit mangelt, Stoffe, Organismen aufzunehmen, und ferner durch Luft oder durch Wasser mit den Menschen in Contact zu treten, wird er als ein für die Gesundheit indifferenter, also salubrer anzusehen sein. Doch muss auch darauf Rücksicht genommen werden, dass im Laufe der Zeit auch der impermeable Boden, wenigstens oberflächlich (durch Verwitterung z. B.), eine gewisse Porosität und Permeabilität erlangen kann (Canton S. 18).

Dem steht nun der permeable Boden gegenüber, der eben eine Aufnahmsfähigkeit für fremde Körper besitzt.

Hier befinden wir uns vor der noch ungelösten Frage, ob der Boden bereits spontan, ohne Hinzutritt des Menschen, Krankheitsstoffe, Krankheitserreger producirt. Viele epidemiologische Thatsachen, soweit sie die Malaria betreffen, scheinen dafür zu sprechen; es sind dies besonders jene Vorkommnisse, wo ein vollkommen jungfräulicher, scheinbar noch nie von Menschen betretener Boden bei der ersten Ansiedlung, bei der ersten Bearbeitung eben jene Krankheiten in ausserordentlich heftiger Weise erregt [1]).

Für eine Reihe anderer Krankheiten, deren Zusammenhang mit dem Boden wir annehmen, scheint es jedoch unerlässlich, dass ein specifischer Keim erst auf und in den Boden gelange, und die Bodenverunreinigung, die ein wichtiges ätiologisches Moment ausmacht, wird wohl hauptsächlich nach dieser Richtung hin wirken, dass sie die specifischen Keime hinzuführt.

Ein Factor nun ist es, das Wasser, das, sowie es überhaupt das Leben, die Entwickelung und auch die Verbreitung von Organismen maassgebend beeinflusst, dies auch im Boden in entschiedener Weise zu thun scheint, und deshalb sind die Beziehungen zwischen

---

1) Hirsch, Historisch-geographische Pathologie. I. S. 193 ff.

Boden und Wasser für die Beurtheilung der Salubrität des Bodens ausschlaggebend.

So werthvoll das Wasser bei der Wahl einer Ansiedelung ist, so dass schon die frühesten Ansiedelungen nur dort stattfanden, wo Wasser auftrat [1]), so schädigend kann es für diese Ansiedelung sein, wenn es unter eigenartigen Verhältnissen im Boden erscheint.

Unsere Anschauungen über die Nachtheile, die eine übermässige Durchtränkung des Bodens mit Wasser bei grösseren Schwankungen des Wasserreichthums im Gefolge hat, sind auf empirischem Wege gewonnen, und doch gewährt uns die Forschung jetzt allmählich Anhaltspunkte für die Erklärung ihres Einflusses. Es werden in Folge dessen alle jene Bodenarten als bedenklich anzusehen sein, in welchen das Bodenwasser, das Grundwasser der Oberfläche zu nahe tritt, in welchen es ferner grösseren Schwankungen ausgesetzt ist, die es zu gewissen Zeiten aus einer relativen Tieflage nahe an die Oberfläche fördern kann und umgekehrt.

Deshalb bietet schon die Configuration einen allgemeinen Anhaltspunkt zur Beurtheilung des Bodens, und documentirt sich auch der hygienische Charakter hauptsächlich in dem Gegensatz zwischen Elevation und Depression. Während Anhöhen, Hügel, Berge, erhöhte Stadttheile meist keinerlei nachtheiligen Einfluss des Bodens aufzuweisen haben, ist dies in Einschnitten, Mulden, tiefen Thälern um so häufiger der Fall. Die auf S. 272 gegebenen Ausführungen über die Strömung des Grundwassers und über sein Verhalten zur Oberfläche geben uns hierüber Aufklärung, sie zeigen uns, wie gegen das Gebirge meist die das unterirdische Wasser deckende Schicht eine so überaus mächtige ist, während umgekehrt die Einschnitte, die Thäler Sammelpunkte für die Bodenfeuchtigkeit sind, zu denen das Wasser von den benachbarten Höhen zuströmt und so allmählich die ganze poröse Schicht durchtränkt, dass ferner die Bewegung des Wassers, der Abfluss, die Drainage in den höher gelagerten Gegenden entsprechend dem grösseren Gefälle der undurchlässigen Schicht auch eine viel raschere ist. Aber eben weil wir in der Elevation nicht die absolute Höhe des Bodens zu berücksichtigen haben, sondern seine relative Erhebung über das Bodenwasser, kann dieses Gesetz nicht allgemeine Geltung haben. Dadurch, dass die undurchlässige, wasserführende Schicht nicht nur nicht immer horizontal ist, sondern oft auch in ganz anderem Niveau sich bewegt, als das der Oberfläche

---

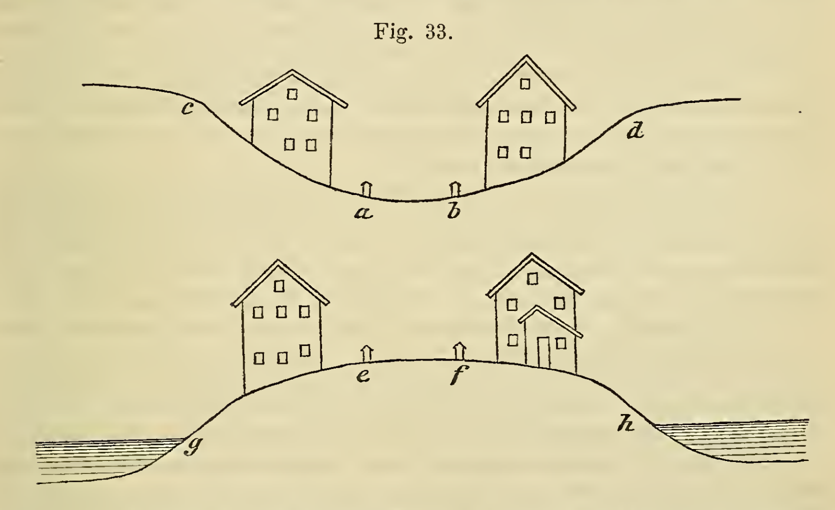
1) Topley, Water Supply in its Influence on the distribution of the Population. Internat. Health exhibition. London 1884.

ist, ja oft ganz entgegengesetzte Schwankungen macht (vgl. S. 255), kann das entgegengesetzte Resultat eintreten, es kann mit der grösseren Elevation sogar die Wassernähe zunehmen oder es kann zum mindesten der Fall eintreten, dass die wasserdichte Schicht in gleichem Winkel mit der porösen Erdschicht steigt, so dass dann trotz gesteigerter Elevation der Abstand von dem Grundwasser derselbe bleibt (vergl. die Profile von Paris [Fig. 36] und Wien [Fig. 37]).

Es sei an einigen Beispielen, die in der Geschichte der Epidemien ihre Rolle gespielt haben, gezeigt, wie oft nahbenachbarte Localitäten sich in diesem Punkte höchst verschieden verhalten.

Pettenkofer[1]) schildert anlässlich der Choleraepidemie in Bayern 1854 die Verhältnisse zweier Strassen vom Günzberg; der Bachgasse und des sogenannten Gries, einer Insel, welche von zwei Armen der Günz gebildet wird. Die Bachgasse führt nun ihren Namen von einem Bach, dessen Bett in die jetzige Strasse (*ab* Fig. 33) umgewandelt wurde, und

Fig. 33.



der nun oberhalb Günzburg eine andere Richtung erhalten; die Häuser liegen nun auf den zu beiden Seiten aufsteigenden früheren Ufern *ac* und *bd* mit ihrer Front gegen die Strasse. Auf der schmalen Insel dagegen, Gries genannt, zieht die Strasse durch deren mittleren höchsten Theil (*e*—*f*), das Terrain dacht sich gegen die beiden Arme der Günz ab (*eg* und *fh*). Während also hier ein rascher und leichter Abfluss möglich war und dem Wasser stets eine vom Hause abwärts gerichtete Tendenz inne wohnte, waren in dem anderen Falle die Häuser gerade fast an dem tiefsten Punkte der Drainage der beiden Abhänge gelagert. Es sei hierzu nur bemerkt, dass diese beiden Strassen sich auch der Cholera

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreich Bayern. S. 161.

gegenüber ganz verschieden verhielten; der Gries blieb verschont und in der Bachgasse wüthete die Cholera am heftigsten.

Unter Umständen können auch hochgelegene Punkte, die einen grossen Anstoss von der Drainage zu erleiden haben, ähnlich ungünstig sich verhalten, wie Thäler, Mulden, Einschnitte, während die benachbarten tiefer gelegenen Theile, die besser drainirt sind, sich einer grösseren Salubrität erfreuen. Ein Beispiel bietet hierfür die Stadt Gibraltar [1]); in den höchstgelegenen Distrikten sind daselbst die Wohnungen terrassenförmig übereinander gethürmt, nicht selten in der Weise, dass die gegen die Bergseite liegende Wand vom Berge selbst gebildet wird, der da von sehr erdiger Beschaffenheit und oft nur von Mörtel oder Brettern bedeckt ist. Diese hochgelegenen Wohnungen sind daher viel feuchter und dumpfer als die Kasematten am Ufer des Meeres. Ein Umstand trägt noch wesentlich dazu bei, diesen Uebelstand zeitweise zu steigern: das ist die natürliche Drainage der Oberfläche des Berges nach diesem Theile der Stadt zu. Unmittelbar oberhalb der Stadt finden sich auch zwei sehr grosse Mulden ausgeprägt, welche die Drainage der westlichen Abdachung des Felsens in grosser Ausdehnung sammeln und wesentlich auf die obersten Theile der Stadt concentriren und ausgiessen. Diese Stadttheile leiden nun bei jeder Gelegenheit und speciell bei den Choleraepidemien weit mehr als andere.

In vielen solchen Fällen wird es übrigens wesentlich auf die Streichungsrichtung der Schichten ankommen, ob wir es mit isoklinen, antiklinen oder synklinen Schichten zu thun haben, da hiervon die Richtung der Wasserströmung abhängt (S. 251).

Derartige Momente verlangen ihre volle Berücksichtigung, die sie aber nicht immer gefunden, trotzdem bereits Hippokrates [2]) anempfiehlt: „Man untersuche weiter das Erdreich, ob es nämlich nackend und arm an Wässern, oder ob es thonig und wasserreich, und ob es in einem Thal und dumpfig oder hochliegend, der Witterung blossgestellt und kalt sei."

Die Folgen der Vernachlässigung dieses Princips bei der ersten Wahl des Ansiedelungsplatzes äussern sich nur zu häufig und Lind [3]) verleiht seinem gerechten Zorn über die ungünstige Anlage Batavias in drastischer Weise Ausdruck: „Es ist unmöglich, ohne Erstaunen zu sehen, dass die Unwissenheit und Dummheit der Erbauer grosser Städte und der Befehlshaber grosser Provinzen volkreiche und prächtige Städte dem Unglück ausgesetzt haben, dass sie alle Jahre von einer pestartigen Krankheit verwüstet werden; das ist der Fall, in welchem sich Batavia zu befinden scheint." Auch heute noch wird es eine der wichtigsten Aufgaben für Förderung der Colonialbestrebungen sein, die richtige Wahl der Localität für die erste Niederlassung zu treffen, damit dieselbe nicht das Schicksal der Stadt Salpia erfahre. Von dieser Stadt erzählt Vitruv [4]) 90 a. Chr., dass die Bewohner derselben zu M. Hostilius kamen und ihn baten, er

---

1) Pettenkofer, Die Choleraepidemie des Jahres 1865 in Gibraltar. Zeitschrift für Biologie. VI.

2) Hippokrates' Werke. Aus dem Griechischen von J. F. Kries. Altenburg 1781. Bd. I. Das Buch von der Luft, den Wässern und der Lage.

3) Versuche über die Krankheiten, denen Europäer in heissen Klimaten unterworfen sind. 1773. 4) Vitruvius, De architectura.

möge ihnen einen tauglichen Ort zur Niederlassung geben, da sie in ihrer Stadt alle Jahre von Krankheiten heimgesucht würden. M. Hostilius erkaufte nun nach vorhergegangener genauer Untersuchung einen in gesunder Lage am Meere gelegenen Landstrich, den er den Salpinern überliess. Jetzt wohnen diese 4000 Schritte von ihrer früheren Heimath in gesunder Gegend.

In scheinbarem Gegensatz zu dieser Beeinflussung des Bodens durch seine Beziehungen zum Wasser stehen die Beobachtungen, nach denen ganz regenlose oder wenigstens höchst regenarme Gegenden als Brutstätten für Epidemien von Bodenkrankheiten erscheinen, deren Untergrund keine Wasseransammlung aufzuweisen hat, oder wo sich diese letztere wenigstens in sehr grosser Tiefe befindet, so dass eine Beeinflussung der Oberfläche und des Menschen nicht erfolgen kann. Hirsch führt als Beispiele für solche Ausnahmen die römische Campagna, das sterile Plateau von Neu-Castilien — eine der regenärmsten Steppen Europas —, die Hochebene von Iran, die Araxesebene an.

Es ist einmal bei derartigen Angaben über Wasserarmuth und Trockenheit des Bodens auf den Zusammenhang zu achten, den das unterirdische Wasser einer Localität mit Gebieten besitzt, die sehr weit von dieser letzteren entfernt sind, und sei bezüglich der römischen Campagna auf die von Tommasi-Crudeli entwickelte Anschauung der unterirdischen Wassercirculation hingewiesen (S. 277).

Dann aber werden wir zu berücksichtigen haben, dass gerade in diesen Gegenden, wo die Abwesenheit des Wassers den Eintritt von Temperaturextremen befördert, die als Folge der nächtlichen Abkühlung eintretende Condensation von Wasserdampf an der Oberfläche wohl eine Rolle spielt. Colin bemerkt, dass in der Campagna ganz exquisite Nebel jeden Morgen den Fuss der Berge, die das Becken Roms begrenzen, einhüllen, und die Salubrität der Häuser auf dem Albaner Berge soll direct ihren Grund darin haben, dass sie über diese Nebel emportauchen. Die Tiefe, in welche dieses Condensationswasser eindringen wird, wird wohl keine bedeutende, und der Wassergehalt wird nicht jene Höhe erreichen, um nicht durch die am Tage sich etablirende Verdunstung wieder zu verschwinden; immerhin liegt jedoch die Möglichkeit vor, dass zeitweilig durch einige Stunden Feuchtigkeitsgrade existiren, wie sie für die Entwickelung oder Conservirung der niederen Organismen nothwendig sind. Es wäre erwünscht, wenn die meteorologischen Untersuchungen in derartigen Gegenden auch nach dieser Richtung hin geführt würden.

Dass sich derartige Gelegenheiten zur Condensation des in der Luft befindlichen Wasserdampfes an der in der Nacht sich rasch und stark abkühlenden Bodenoberfläche auch in regenlosen und scheinbar ganz

trockenen Gebieten (selbst in Steppen und Wüsten) finden muss, wird aus den S. 141 erörterten Temperaturverhältnissen der Bodenoberfläche ersichtlich. Wir besitzen allerdings nur wenige Messungen der täglichen Temperatur der Bodenoberfläche und ihrer Amplitude, aber schon die tägliche Amplitude der Lufttemperatur gibt uns die nöthigen Anhaltspunkte. Es ist schon wichtig, zu erfahren, dass z. B. in Madrid, wo es lange Perioden grösster Dürre gibt, eine grosse tägliche Amplitude der Temperatur besteht (Julimittel 14°), dass die stündliche Temperaturänderung bis 2,4° beträgt (Juli 7—8 a. m.)[1]). In der Sahara, im Innern Australiens, auf den asiatischen Hochplateaus ist diese tägliche Temperaturschwankung noch viel grösser[2]). Rohlfs fand den mittleren Temperaturunterschied (Lufttemperatur und nicht Bodentemperatur, deren Amplitude ja noch viel höher ist, Fig. 5, S. 144) zwischen Sonnenaufgang und 3 h. p. m. in Murzuk selbst im Wintermittel zu 15,5°, in Chartum (15½° n. Br., 386 Meter Seehöhe) beträgt die tägliche Wärmeschwankung in der trockenen Zeit 14—16° C., in der Oase Kufra (ca. 25° n. Br., 500 Meter Seehöhe) betrug dieselbe im Mittel eines Monats (15. Aug. bis 14. Sept.) sogar 22,2°. Nachtigal beobachtete im Sommer in der Wüste zwischen Murzuk und Kuka durchschnittlich tägliche Temperaturamplituden von 19—22°, Livingstone im Innern Südafrikas durchschnittlich Temperaturdifferenzen zwischen Sonnenaufgang und Mittag im Juni von 26,6°, die bis zu 30—40° steigen können. Am 25. Dec. 1878 beobachtete Rohlfs zu Bir Milrha (südlich von Tripolis) am Morgen —0,5° C., am Nachmittag 37,2°. Dr. Emin sagt vom Juli und August (1876) zu Rubaga am Victoria Nianza (5° 6′ n. Br.), die Nächte seien in dieser Jahreszeit „furchtbar" kalt. Dr. Perrier fand am Morgen des 25. Mai 1840 in der algierischen Sahara um seine Zelte den Boden mit Reif bedeckt, um 2 h. p. m. dagegen 31,5° im Schatten, und Mitchell hat in Nordwest-Australien am 2. Juni Morgens bei Sonnenaufgang —11,6°, um 4 h. Nachm. aber 19,4° beobachtet.

Bringen wir nun mit diesen Daten in Zusammenhang die Grösse der absoluten Feuchtigkeit der Luft in diesen Gegenden, aus der wir erfahren, bis zu welchem Grade die Abkühlung erfolgen muss, damit eine Condensation, damit die Luft ihren Thaupunkt erreicht. In den Steppen und Wüsten von Südwestsibirien und Westturkestan (Orenburg 52° n. Br., Barnaul 53½° n. Br., Nukuss 42½° n. Br., Yarkand 38½° n. Br., 1257 Meter Seehöhe) entspricht die absolute Luftfeuchtigkeit im Julimittel einer Tension von 10,2—12,3 Mm., so dass bei einer Temperaturerniedrigung auf nur +11,7 bis 14,5° Condensation eintreten müsste. Rohlfs hat in Ghadamas einen Dunstdruck von 9,8—11,9 Mm. beobachtet, was einem Thaupunkt von 11,1—14,0° entspricht, in der Oase Kauar mitten in der Sahara eine Tension von 13 Mm. = 15,4° Thaupunkt und in der Oase Kauar im August eine Tension von 8,3 Mm. = 8,6° Thaupunkt, im September eine Tension von 10,1 Mm. = 11,5° Thaupunkt. Auf diese Weise muss es bei den starken nächtlichen Abkühlungen zu ausgedehnter Condensation kommen.

---

1) Woeikoff, Die Klimate der Erde. Jena 1887.

2) Hann, Handbuch der Klimatologie.

In diesen Momenten, die wir soeben als maassgebend für die hygienische Beurtheilung des Bodens hervorgehoben haben, liegen nun ferner die Gesichtspunkte für die Assanirung eines Bodens. Allerdings sollte schon die Wahl des Bodens, des Bauplatzes die Assanirung überflüssig machen. Es wird dies aber oft unterlassen, und da müssen wir denn nach zwei Richtungen auf den Boden einzuwirken suchen: auf seinen Gehalt an niederen Organismen, besonders soweit es sich um pathogene, in demselben entwickelungsfähige oder conservirbare Organismen handelt, und auf den in demselben befindlichen Wassergehalt.

Die Maassregeln, die mit Rücksicht auf diese beiden Momente genommen werden, stimmen zum Theil mit einander überein.

Um den Boden rein und möglichst organismenfrei zu erhalten, werden wir sorgfältig ein jedes Eindringen der Abfallstoffe des menschlichen Haushalts zu vermeiden suchen, und also eine sorgfältige Entwässerung des Hauses und seiner Umgebung vornehmen.

Um jedoch das Wasser zur nöthigen Tiefe herabzusenken und die Schwankungen zu reguliren oder wenigstens ihren Einfluss abzuschwächen, werden wir eine sorgfältige Entwässerung, Drainage, unter Umständen eine vollständige Trockenlegung des Bodens etabliren, welche den Abfluss beschleunigt, das Wasserniveau erniedrigt und dem Wasserstrome eine constant absteigende Tendenz anweist; eine rationelle Cultur des Bodens und unter Umständen auch Anpflanzungen werden diese Bemühungen unterstützen.

Geologische Profile einiger Hauptstädte Europas.

Die folgenden Bodenprofile sollen es ermöglichen, einige Anhaltspunkte zur Beurtheilung der verschiedenen Gebiete einer Stadt zu geben, insbesondere insoweit es sich um die Beschaffenheit der obersten Schichten, ihre Configuration, ihre mechanische Structur, ihre Erhebung über das Grundwasser handelt. Mitunter bieten solche Darstellungen Anhaltspunkte für die Erklärung mancher epidemiologischer Thatsachen, mitunter auch für das Ergreifen von Assanirungsmaassregeln.

1. Berlin.

Berlin [1]), sowohl in oro- und hydrographischer, als auch in geologischer Beziehung in untrennbarem Zusammenhange mit dem norddeutschen

---

1) Das auf Fig. 34 dargestellte, des Buchformates wegen in vier Theile zerlegte Profil ist dem Kartenwerke entnommen: „Geologische Karte der Stadt Berlin,

Tief- und Flachlande, einem Theile jener weiten Niederung, welche, von Holland aus bis tief in das baltisch-sarmatische Russland sich erstreckend, den Norden Europas von der Mitte des Continentes scheidet, bildet einen gewissen, naturgemässen Mittelpunkt dieses Flachlandes, welches sich mit kaum merklicher Neigung, nur durch niedrige, bald breitere, bald schmälere Höhenrücken sanft geschwellt, mehr noch durch zahlreiche Wasserrinnen und Seebecken gefurcht, von den Nordgrenzen des mitteldeutschen Berglandes nach der Nordsee und Ostsee hinabzieht.

Mächtige Massen von Sand, Grand (Grus), Geschiebelehm, Mergel, Thon von verhältnissmässig, gegenüber dem Felsboden des deutschen Berglandes lockerer Beschaffenheit, setzen mit Wiesen, Moorerde und anderen pflanzenmoderhaltigen Gebilden den Boden dieser ausgedehnten Niederung fast ausschliesslich zusammen. Sie gehören den beiden jüngsten Schichtengruppen an, welche die Geologie unterschieden hat: dem Alluvium oder den Bildungen, die sich eng an die Vertheilung unseres gegenwärtigen Fluss- und Wassernetzes anschliessen und zum Theil noch fortwährend innerhalb desselben abgesetzt werden, und dem zeitlich unmittelbar vorhergehenden, glacialen Diluvium.

Es ist schon auf S. 270 auseinandergesetzt worden, warum sich hier die so einfachen Verhältnisse der glacialen Ablagerungen, wie sie sich in München gezeigt haben, nicht wiederholen.

Der Boden von Berlin gehört derjenigen natürlichen Theilgruppe des norddeutschen Tieflandes an, welche hauptsächlich die Wassergebiete der Havel und Spree umfasst und vom alten Uferrand des Lausitzer Gebirges im Süden bis zu der Ostseeküste zwischen der Lübischen Bucht und dem Stettiner Haff im Norden reicht. Oestlich bilden der Unterlauf der Oder und in seiner Fortsetzung die Thäler des Queiss und des Bober, südwestlich und westlich die Niederung der schwarzen Elster und das Elbthal bis Lauenburg abwärts, von da die Stecknitz und Trave bis zur Ostsee die Grenze.

---

nebst 4 Tafeln (Profile). Atlas zu Heft XIII des Werkes ‚Reinigung und Entwässerung Berlins‘, von K. A. Lossen“. Es ist das Profil XII dieses Werkes und wurde es einestheils deshalb gewählt, weil es die eigentliche Stadt von Süd nach Nord durchschneidet, andererseits, weil es von allen diesen Profilen die grösste Zahl der zur Feststellung der Grundwasserniveaus dienenden Brunnen enthält.

Es ist in dieses Profil der höchste und der tiefste Grundwasserstand innerhalb der Jahre 1870/85 eingezeichnet, und zwar auf Grund von zwei noch nicht durch den Druck vervielfältigten Stadtplänen, in welche die Horizontalcurven des höchsten und niedrigsten Grundwasserstandes eingezeichnet und die auf der wissenschaftlichen Ausstellung von Apparaten und Instrumenten der Naturforscherversammlung in Berlin von Seite der Stadt Berlin ausgestellt waren. Sie wurden mir in bereitwilligster Weise behufs Verwerthung zur Verfügung gestellt.

Die geologische Charakterisirung lehnt sich theils an das Werk: „Der Boden der Stadt Berlin“ von K. A. Lossen. Berlin 1879, an, theils an das Capitel: „Der Boden Berlins und seiner Umgebung“ der Festschrift, dargeboten den Mitgliedern der 59. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte von den städtischen Behörden, sowie an das Werk: „Der Boden der Hauptstädte Europas“ von F. Karrer. Wien 1881.

In den Diluvialbildungen des norddeutschen Tieflandes unterscheidet man nun zwei Systeme: das ältere oder nordische und das jüngere oder einheimische.

Das ältere oder nordische Diluvium (Fig. 34 *ds, dg, du*) ist unter allgemeiner Eisbedeckung, welche von Skandinavien bis hoch an die Gehänge des mitteldeutschen Gebirgslandes reichte, zum Theil aber auch durch Wirkung von rinnendem Wasser gebildet und besteht theils aus den Grundmoränen der skandinavischen Gletscher, dem Geschiebelehm mit seinen grossen erratischen Blöcken, theils aus den fluvioglacialen Bildungen, aus Sanden, Thonen, Grand u. s. w., welche von den der nordischen Eismasse entströmenden Wässern abgelagert wurden.

Das jüngere Diluvium (Fig. 34 *do*) verdankt seine Entstehung theils fliessendem Wasser, theils dem atmosphärischen Niederschlage und ist grossentheils im engen Anschluss an das Erosionsgebiet des heutigen Wassernetzes, besonders an dessen Oberlauf abgelagert, beginnt daher erst mit der Annäherung an das Gebirgsland des Harzes, bei Halle, Dresden u. s. w. eine Rolle zu spielen.

Das Alluvium (Fig. 34 as_1, as_2, as_3) ist ein durch Absatz aus Wasser gebildetes Depot anorganischer Materialien. Man rechnet aber auch Bildungen organischer Natur dazu, wie die Wiesenerde, und endlich die Flugbildungen.

Der Flugsand (Fig. 34 *ah*), der Dünensand hat keine bestimmte Bildungszeit, er liegt bald auf alter, bald auf junger Alluvion, in langgestreckten Hügeln und Ketten, die oft harmoniren mit benachbarten Wasserläufen, Luchen oder Fennen.

Die Torfbildungen, Wiesenerde und Modergründe oder die Bacillarienerde sind jungalluviale Bildungen (Fig. 34 *amb, asm*), die in Vertiefungen des alten Alluviallandes lagern.

Die beiden, die Stadt einschliessenden Hochflächen, die des Teltow im Süden, des Barnim im Norden, können nun als diluviale Hochflächen bezeichnet werden. Die Oberfläche beider besteht in der Hauptsache aus einem lehmigen Sande, unter welchem zunächst der allbekannte, zu häuslichen wie Bauzwecken vielbenutzte Lehm und bei 1,5 — 2 Meter Tiefe regelrecht der Geschiebemergel selbst folgt, als dessen Vermittlungsrinde Lehm und lehmiger Sand anzusehen sind. Unter diesem Geschiebemergel, im gewöhnlichen Leben auch Lehmmergel genannt, der also den bei weitem grössten Theil beider Hochflächen und zwar bis auf 2—6 Meter Tiefe bildet, folgen, an den Thalrändern heraustretend, Sande, die besonders am Kreuzberg, in der Hasenheide und den Rollbergen bei Rixdorf mächtig entwickelt sind, grosse Kieslager einschliessen und in ausgedehnten, bereits tief ins Plateau sich hineinziehenden Gruben gewonnen werden.

Mit dem erst in grösserer Tiefe das Grundwasser führenden lehmigen Boden der Höhen contrastirt aufs lebhafteste der durchlässige, feuchte, dasselbe in geringer Tiefe zeigende sandige, zum Theil auch moorige Boden der Niederung, auf welchem das gesammte ältere Berlin, d. h. das Berlin vor 1870, liegt.

Drei verschiedene, durch die geognostischen Verhältnisse bedingte Höhenstufen mit abnehmender Grundwasserstandstiefe können auch hier

noch unterschieden werden und erregen um so mehr das Interesse, als sie in Wirklichkeit durch Abtragen und Aufschütten innerhalb der Stadt bereits völlig ausgeglichen und dem Auge längst unkenntlich gemacht sind.

1. So verwischen, die höchste Thalstufe bildend, Flugsande (*ah*) im Norden der Stadt, von der Neuen Hochstrasse beim Wedding beginnend, längs der Acker- und der Lothringer Strasse bis in die Nähe des Friedrichshains durch ihre Anwehung das plötzliche Ansteigen des nördlichen Thalrandes in etwas; so zog sich beispielsweise vom zoologischen Garten bis zur Hasenheide eine lange Kette kahler Flugsandhügel, im Zuge der Kurfürsten- und Steglitzer-, Teltower- und Pionier-, jetzt Blücherstrasse hin.

2. Dagegen liegt auf dem, die zweite Terrainstufe bildenden, völlig ebenen Thalsande (as_1, as_2, as_3) beispielsweise die ganze Leipziger Strasse, wie überhaupt der grösste Theil der darum so regelmässigen Friedrichstadt zwischen Koch- und Behrenstrasse. Deutlich treten ferner, vom Thalsand gebildet, die beiden Inseln des alten Berlin und Kölln an der Spree heraus (vergl. Fig. 34 b u. c).

3. Die tiefste Stufe endlich bilden die zahlreichen jüngeren Rinnen, welche, mit verschiedenen alluvialen Bildungen, vielfach Moorerde oder Torf, erfüllt, schon einen wesentlich ungünstigeren Untergrund abgaben (*amb, asm*). Sie sind gerade unter Berlin häufig: das Dreieck zwischen Askanischem Platze, Augusta- und Grossbeeren-Brücke ist z. B. eine zusammenhängende Torffläche, von der zwischen Friedrich- und Wilhelmstrasse eine Bucht bis zur Putkammerstrasse reicht.

Noch schlimmerer Baugrund waren und sind die Flächen, in denen die sogenannte Infusorien- oder richtiger Diatomeenerde auftritt. In mehr oder weniger mächtigen reinen Ablagerungen finden wir sie meist entlang der Spree, von der Jannowitzbrücke einerseits über den Spittelmarkt, andererseits über den Alexanderplatz in fast ununterbrochenem Zuge durch Georgen- und Dorotheenstrasse, längs Schiffbauerdamm und Kronprinzenufer bis hinab zum Bahnhof, Thiergarten und der Borsigschen Eisengiesserei in Moabit. Aber auch in isolirten Becken mit Moorerde gemischt, als sogenannte „Moddererde“, zeigt sie sich mehrfach, namentlich zwischen dem Halleschen Thore und dem Schlossplatz.

Glieder der Tertiärformationen sind innerhalb Berlins und seiner nächsten Umgebung nirgends zu Tage tretend gefunden, sondern ausschliesslich in einer Reihe von Bohrungen (17), welche die Erschrotung von Trinkwasser erstrebten und in den bei weitem meisten Fällen auch erreichten.

Es hat sich bei diesen Bohrungen die interessante Thatsache ergeben, dass in sämmtlichen 17 Bohrlöchern unter der Braunkohlenformation regelrecht Septarienthon lagert, jener hellgraue, fette, kalkhaltige Thon, wie er, in etwa 1 1/2 Meilen nördlich Berlin bei Hermsdorf zu Tage tretend, seit langem bekannt ist und nach den in ihm vorkommenden marinen Schaalresten von Beyrich als mitteloligocänes Tertiär bestimmt wurde.

Dieses mächtige marine Thonlager bildet also die tiefere Unterlage der gesammten Berliner Gegend. Unmittelbar auf demselben lagert eine

zwischen 35 und 43 Metern schwankende Folge feinster Quarz- bis Glimmersande, welche als Vertreter des marinen Oberoligocän zu betrachten ist, und demnächst Sande, Letten und Kohlen der märkischen Braunkohlenbildung.

Die Grundwasserverhältnisse in Berlin bieten aus den auf S. 270 angeführten Gründen kein so einfaches Bild, wie sich dies auf der bayrischen Hochebene und in München präsentirt. Die bedeutende Mächtigkeit der Diluvialbildungen, bei einer im Grossen und Ganzen wohl horizontalen, im Einzelnen aber welligen Lagerung, die, soweit bekannt, überaus grosse Unebenheit ihrer unteren Grenzfläche und ganz besonders die Unbeständigkeit der inneren Gliederung innerhalb derselben engen Raumgrenzen, und die daraus folgende Unsicherheit über die in einem bestimmten Niveau unter der Unterkante des Oberdiluvium zu erwartende Mächtigkeit und petrographische Beschaffenheit der einzelnen Formationsglieder, sind nach Lossen die Schwierigkeiten, die einer klaren wissenschaftlichen Beurtheilung der geologischen Zusammensetzung und damit wohl auch der hydrographischen Verhältnisse des Berliner Bodens entgegenstehen. Das Wesentlichste, was sich aus den Beobachtungen der Grundwasserschwankungen der letzten 16 Jahre ergeben hat, sei hier angeführt.

Fig. 34 (a — d) (S. 332 u. 333) bringt eine in das Profil Berlins (Lossen, geologische Karte der Stadt Berlin, Profil XII) eingezeichnete Darstellung des in diesem 16jährigen Zeitraume beobachteten höchsten und tiefsten Grundwasserstandes[1]), zu dessen Erläuterung Folgendes dienen mag:

Das Altalluvium selbst (*as*1, *as*2, *as*3) besitzt keine wasserundurchlässigen Ablagerungen; die diluvialen Geschiebelehme (*du*) und der Diluvialthon, die diese Beschaffenheit wenigstens in relativ hohem Maasse haben, sind gleichfalls nur höchst selten die unmittelbare Unterlage des Bodens der Thalsandwanne, sie liegen entweder über der Nulllinie der Spree (Barnim und Teltow, auf dem Profil Fig. 34 nicht mehr dargestellt) oder sehr viel tiefer; in ersterem Falle bedingen sie, da sie am Uferrande anstehen, Seitenzuflüsse des Einsickerungswassers aus dem Diluvialplateau in das Altalluvium hinein. Die wesentliche Unterlage des Thalsandes (*asm*, *ah*, *as*1 *as*2 *as*3) ist das diluviale Grand- und Sandlager (*ds* und *dg*), Ablagerungen, die eine Wassercirculation theils erleichtern, theils ihr wenigstens keinen bedeutenden Widerstand entgegensetzen.

1) Vergl. Anmerkung S. 327 f.

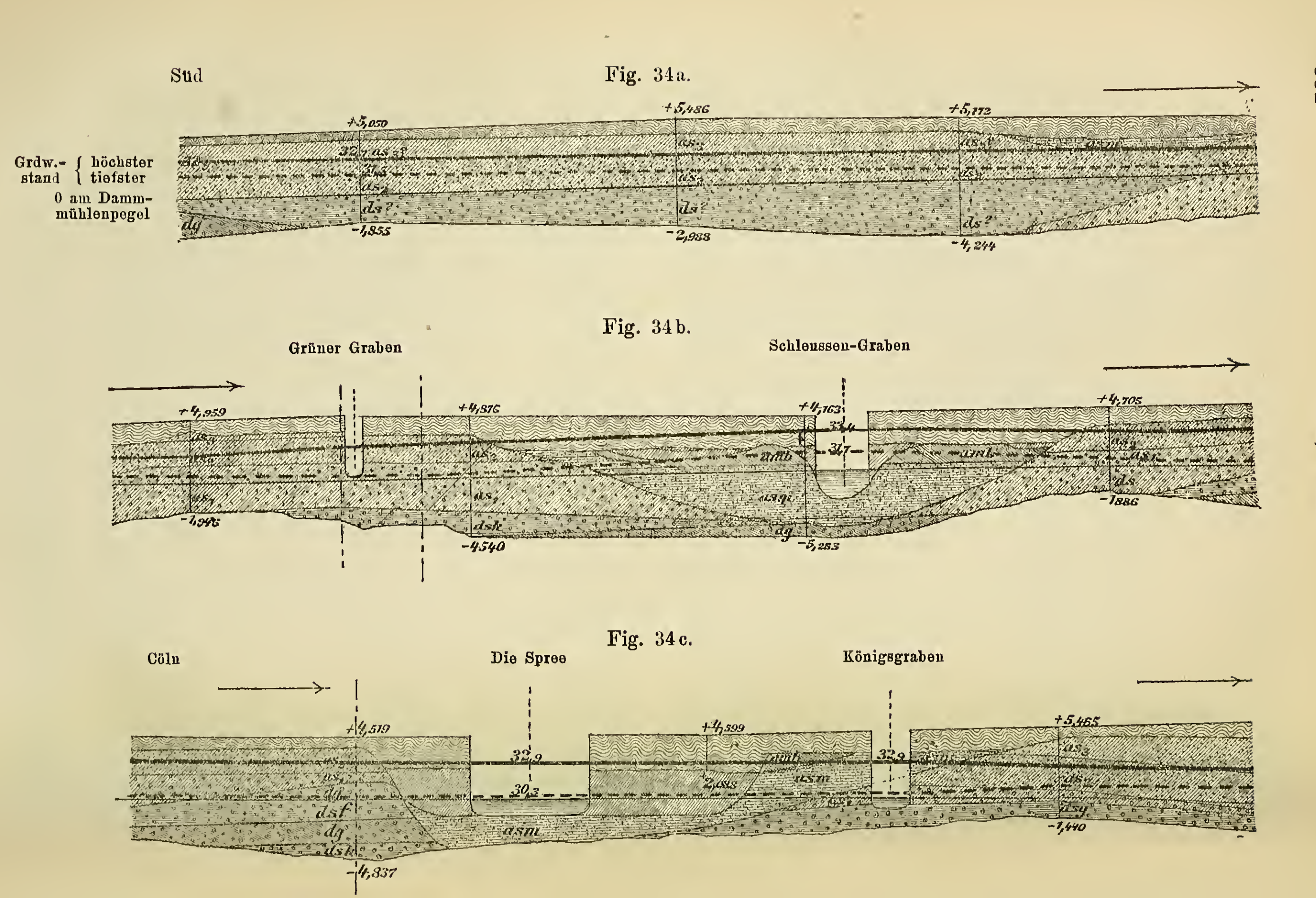
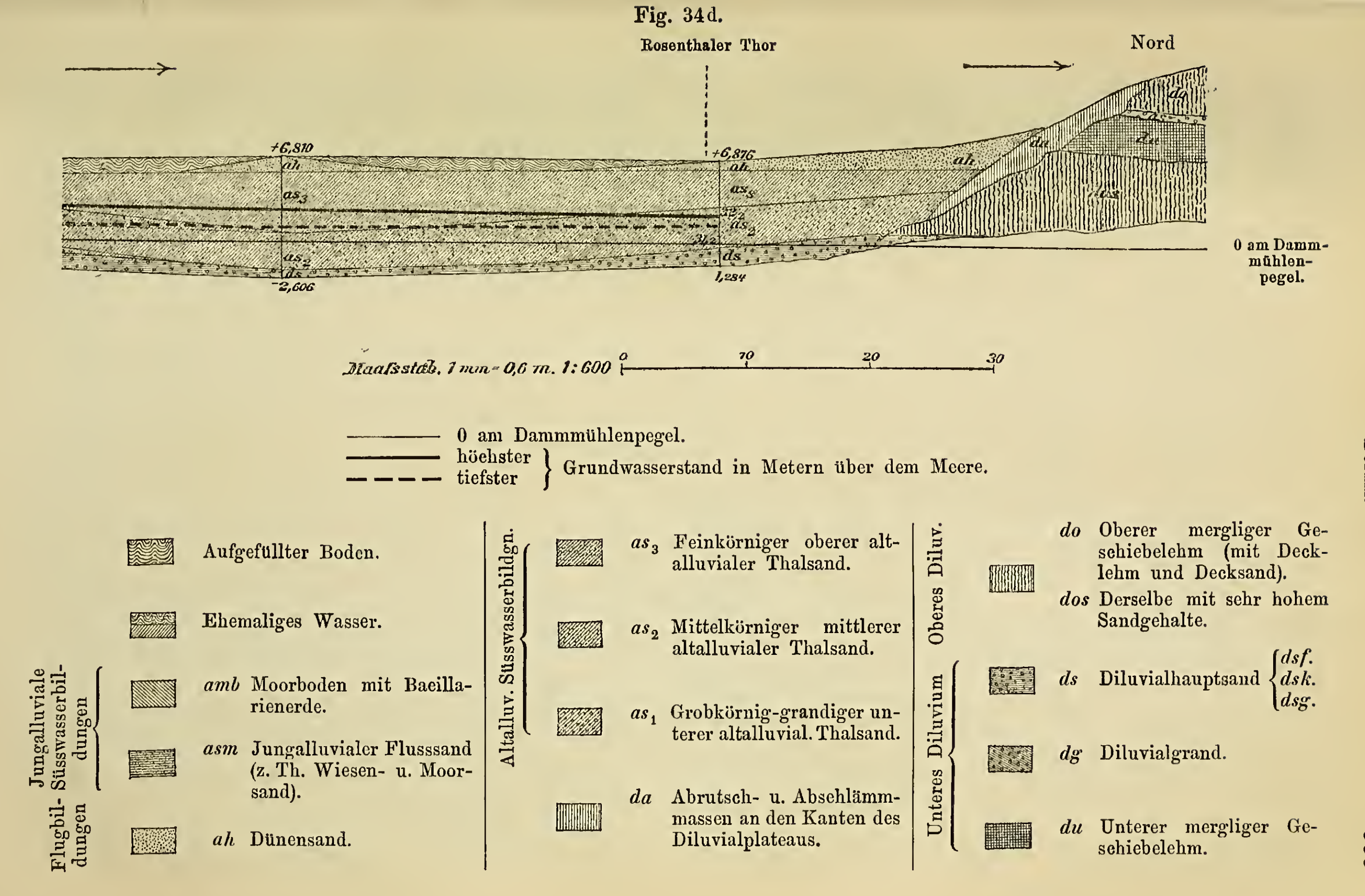


Fig. 34a.

Fig. 34b.

Fig. 34c.


Fig. 34d.
Rosenthaler Thor
Nord
+6,810
ah
as3
as2
ds
-2,606
+6,876
ah
as3
as2
ds
1,284
ah
du
do
dos
0 am Dammmühlenpegel.
Maafsstab. 1 mm = 0,6 m. 1:600
0
10
20
30
0 am Dammmühlenpegel.
höchster
tiefster
Grundwasserstand in Metern über dem Meere.
Jungalluviale Süsswasserbildungen
Aufgefüllter Boden.
Ehemaliges Wasser.
amb Moorboden mit Bacillarienerde.
asm Jungalluvialer Flusssand (z. Th. Wiesen- u. Moorsand).
Flugbildungen
ah Dünensand.
Altalluv. Süsswasserbildgn.
as3 Feinkörniger oberer altalluvialer Thalsand.
as2 Mittelkörniger mittlerer altalluvialer Thalsand.
as1 Grobkörnig-grandiger unterer altalluvial. Thalsand.
da Abrutsch- u. Abschlämmmassen an den Kanten des Diluvialplateaus.
Oberes Diluv.
do Oberer mergliger Geschiebelehm (mit Decklehm und Decksand).
dos Derselbe mit sehr hohem Sandgehalte.
Unteres Diluvium
ds Diluvialhauptsand dsf. dsk. dsg.
dg Diluvialgrand.
du Unterer mergliger Geschiebelehm.

Der Grundwasserstand im Altalluvium steigt im Allgemeinen gegen die diluvialen Ufer hin an und neigt sich gegen die Hauptentwässerungsrinne der Spree. Der Abstand zwischen Bodenoberfläche und Grundwasserniveau beträgt innerhalb des im Profil 34 (a — d) dargestellten Bereiches der Niederstadt bei höchstem Grundwasserstand 1,0—4,8 Meter, bei tiefstem Grundwasserstand 2,5 bis 5,8 Meter.

Im diluvialen Gebiete der südlichen Hochstadt (Teltow) veranlassen die Lehm- und Thonablagerungen innerhalb der Untergrandbank die Bildung zweier Grundwasserzonen, einer oberen, die nur wenig das Niveau des altalluvialen Grundwasserstandes überragt, und einer tieferen, wasserreicheren unter jenen Ablagerungen.

In der nördlichen Hochstadt (Barnim) bewirkt die häufig ausschliessliche lehm- und thonreiche Entwickelung der Diluvialablagerungen häufig das gänzliche Fehlen einer Grundwasserzone, oder aber sie liegt beträchtlich höher als der Grundwasserspiegel des Altalluviums; auch hier gibt es eine Untergrundwasserzone, die an vielen Stellen tiefer steht als der Spiegel des Spreewassers und der Grundwasserspiegel im Altalluvium.

Die Untergrandbank in der Niederstadt (*ds*, *dg*) nimmt fast durchweg ein tieferes, ja oft ein beträchtlich tieferes Niveau ein als in den Rändern, so dass hierdurch im Allgemeinen eine Bewegung des darin circulirenden Wassers von den Plateaurändern gegen die Mitte der Niederstadt zu bewirkt wird; es prägt sich dies in den beiden Grundwasserlinien des Profils aus, aus denen wir erkennen, dass der Spiegel des Grundwassers, von den natürlichen Wasserläufen angefangen, in der Richtung nach den Thalwänden hin steigt, und dass die Bewegung (Strömung) des Grundwassers mit Gefälle in der Richtung nach den natürlichen Wasserläufen statt hat.

Die unabhängig vom Grundwasser steigende und fallende Spree übt auf den Stand des letzteren einen grossen Einfluss aus, derselbe tritt auch schon im Profil zu Tage, man sieht, wie das Steigen der Spree einen Anstau zur Folge hat, wie sich das ganze Niveau des Grundwassers verflacht, während das Sinken der Spree ein beschleunigtes Abfliessen, ein Sinken des Grundwassers, aber auch gleichzeitig eine Erhöhung der Niveaudifferenz zur Folge hat. Auf der im Profile zur Darstellung gebrachten Strecke beträgt die Niveaudifferenz gegen Süden zu bei niedrigster Spree und Grundwasserstande 1,7 Meter, bei höchstem dagegen nur 0,1 resp. 0,5 Meter.

Fig. 35 (siehe S. 336) gibt eine graphische Darstellung der Jahresperiode der Schwankungen des Grundwasserstandes und

der Spree, wie sie nach den 16 jährigen Beobachtungen sich ergibt[1]).

Die Curve zeigt uns, dass die beiderseitigen Wasserstände nach Rhythmus ausserordentlich übereinstimmen, nur gehen die Aenderungen in den Schwankungen des Flusses denen des Grundwassers voran. Höchster Spreewasserstand im März; höchster Grundwasserstand im April. Tiefster Spreewasserstand im September; tiefster Grundwasserstand im October. (Denselben Rhythmus und dieselben Beziehungen zu einander haben Grundwasser und Fluss in Bremen, Frankfurt a. M., einem Theile Wiens u. A.)

Die Erklärung für diese Abhängigkeit des Grundwasserstandes vom Stande der Spree, die im directen Gegensatz zu den auf S. 287 angeführten Verhältnissen von München steht, ist leicht zu finden. In München, wo der Fluss tief in die undurchlässige Flinzschicht einschneidet, und von derselben also noch in einer bestimmten Höhe überragt wird, gelangt das Grundwasser ziemlich hoch über dem Flussniveau (auch in Form von Quellen) zum Abfluss (Fig. 20 *e*). Es werden diese Abflussstellen auch bei Hochstand des Flusses nicht erreicht, und die Folge davon ist jene auf S. 285 ff. eingehend besprochene Unabhängigkeit der beiderseitigen Schwankungen von einander.

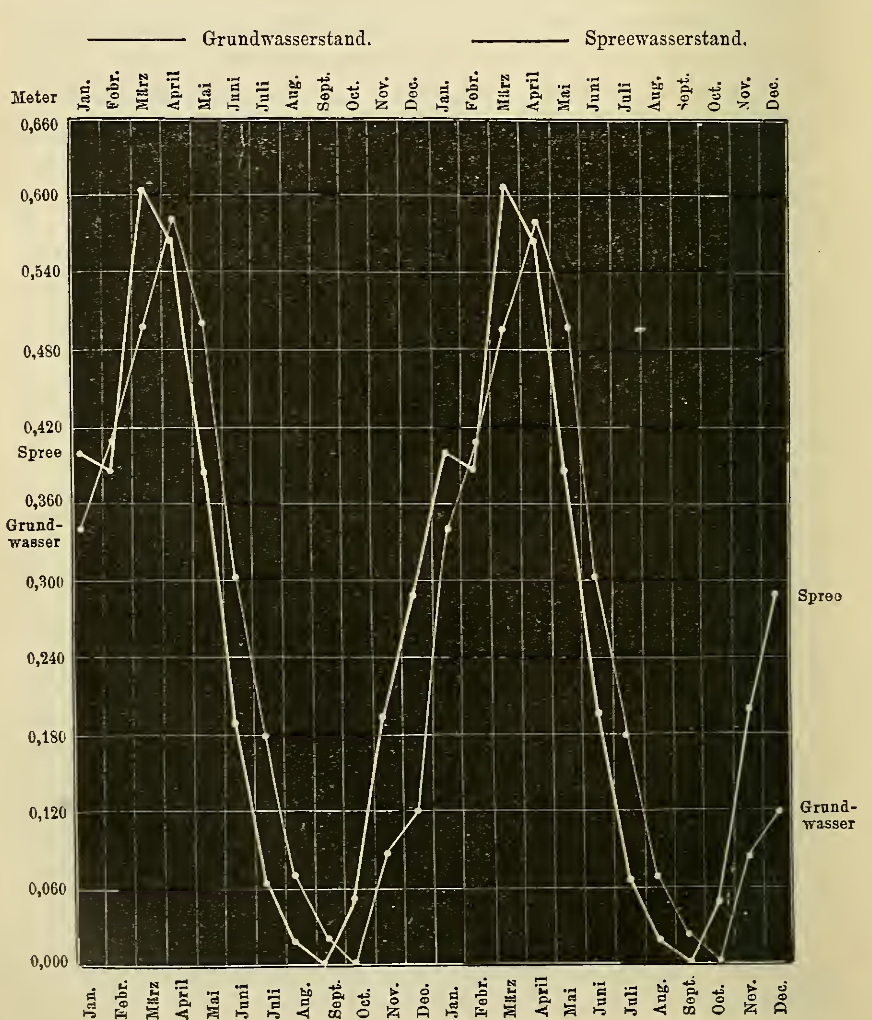
In Berlin dagegen liegt die undurchlässige Schicht tief unter der Spree; die Spree fliesst, so wie das Grundwasser in jenen Bodenschichten, die mehr oder weniger durchlässig für Wasser sind, und das Grundwasser senkt sich zum Spreeniveau ab, in welches es allmählich übergeht. Erhebt sich nun das Spreeniveau, so muss sich hier nach dem Gesetz der communicirenden Röhren auch das Niveau des Grundwassers entsprechend erhöhen. Das erhöhte Niveau der Spree wirkt in diesem Falle gewissermaassen als Stauwehr, und diese Stauung muss sich weit nach rückwärts fortpflanzen. Wir müssen uns vorstellen, dass in Folge des Hochstandes der Spree der Abfluss des Grundwassers höher gelegt wird, und dies hat zur Folge, dass die Wassersäule im Boden, die den Abfluss bewirkt und die ja auch noch die Reibung im Boden zu überwinden hat, eine grössere Höhe erreichen muss, bevor sie den nöthigen Druck ausüben kann, um das Wasser zum Abfliessen zu bringen, und eben diese höhere Wassersäule repräsentirt ja den erhöhten Grundwasserstand. Umgekehrt ist ein Tiefstand der Spree mit einer Erniedrigung der Abfluss-

1) In den statistischen Jahrbüchern der Stadt Berlin und in den Veröffentlichungen des statistischen Amtes der Stadt Berlin sind die betreffenden Zahlenwerthe angeführt.

Fig. 35.

Jahresperiode des Grundwasser- und des Spreewasserstandes (Dammmühle O.-W.) in Berlin 1870/85.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Mittlerer Grundwasserstand über dem adriat. Meere in Metern .	32,72	32,79	32,88	32,96	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	32,38	32,47	32,50	32,62
Mittl. Spreewasserstand über dem adriat. Meere (Dammmühle O.-W.) in Metern	32,49	32,48	32,71	32,66	32,48	32,29	32,16	32,11	32,09	32,14	32,29	32,38	32,35



stelle des Grundwassers zu vergleichen; der Druck der Wassersäule, der nöthig ist, um das Grundwasser zum Abfluss zu bringen, ist ein geringerer, der Grundwasserstand wird also ein niedrigerer.

Der Hochstand der Spree muss natürlicher Weise auch ein Eindringen von Flusswasser in den Boden zur Folge haben, wie dies im Profil nördlich vom Königsgraben (Fig. 34c) bei hohem Grundwasserstand zum Ausdruck kommt.

Dass trotz dieser Beeinflussung des Grundwassers durch die Spree dasselbe als Index für gewisse epidemiologische Beziehungen gelten kann („Volkskrankheiten" Cap. III), hat seinen Grund darin, dass die localen klimatischen Elemente (Niederschlag, Verdunstung) ziemlich gleichmässig und gleichzeitig auf Grundwasser und Spree einwirken, und dass diese letztere nicht durch meteorische Factoren anderer, entfernter und klimatologisch heterogener Gegenden beeinflusst wird.

In Berlin werden nun ausserdem durch die den Schifffahrtszwecken dienenden Anlagen manche nicht unwesentliche Modificationen in den Grundwasserverhältnissen künstlich geschaffen.

Das zwischen den Schleussen gestaute Wasser des Schifffahrtskanals zeigt einen stetigeren Wasserstand als das Ober- und speciell das Unterwasser der Spree, und dies hat einen Einfluss auf gewisse Verschiedenheiten zwischen dem Grundwasserniveau der Nord- und Südrandzone der Niederstadt. Der Grundwasserstand, sowohl der höchste als der niedrigste, nimmt südlich von der Spree constant ein höheres Niveau ein als nördlich, und die Schwankungen sind auf dieser Seite auch viel geringer.

Vergleicht man die Brunnen in einer Entfernung bis zu 1000 Meter nördlich der Spree mit jenen in gleicher Distanz südlich vom Schifffahrtskanal, so findet man bei den Jahresmaximalständen des Grundwassers südlich der Spree ein Ansteigen bis zu 33,94, nördlich der Spree blos bis zu 32,79 Meter (Differenz 1,15), vergleicht man die Jahresmittel, so erhält man südlich der Spree die Maximalgrössen von 33,74, nördlich von 32,30 Meter (Differenz 1,44, auch in der Grundwasserlinie des Profils ausgeprägt). Besonders deutlich prägt sich auch die Verminderung der Schwankungen, der Amplitude bei den unmittelbar dem Schleussenkanale benachbarten Brunnen aus. Die drei südlich vom Schifffahrtskanal gelegenen Brunnen (VIII, XII und XVII), in der Distanz von 580—700 Meter vom Schifffahrtskanal, zeigten innerhalb der Jahre 1870/85 eine Amplitude der Jahresmittel von 0,43, 0,40, 0,49 Meter, die drei benachbarten Brunnen nördlich vom Schifffahrtskanal (XVI, XXII, XXVI) in ähnlicher Distanz (180, 500, 700 Meter) 0,32, 0,37, 0,30 Meter. (Es sei hinzuge-

fügt, dass die Amplituden bei den anderen Brunnen bis zu 1,34 Meter betragen.)

Die Folgen der Schleussenstauung, die sich in einer dauernden Infiltration des Untergrundes zeigen, treten im Profil (Fig. 34b) beim tiefsten Grundwasserstande in der Nachbarschaft des Schleussengrabens sehr deutlich zu Tage; das Wasser bildet hier einen bis 1,2 Meter sich erhebenden abgestumpften Kegel, dessen Kuppe vom Niveau des Schleussengrabens gebildet wird, und der nach beiden Seiten hin sehr steil abfällt (1,2 auf 20 Meter nach Norden, 1,3 auf 33 Meter nach Süden). Aber auch die aus andauernden Hochwasserständen hervorgehende Hebung des Grundwasserspiegels in der Umgebung der Oberspree hat eine Infiltration des Bodens mit Spreewasser zur Folge, die das Eintreten des Wassers in die Kellergeschosse der Häuser verursacht und als sanitärer Nachtheil empfunden wird [1]).

Für die Verschiedenheiten im Niveau und in den Schwankungen des Grundwassers der Nord- und Südrandzone der Niederstadt sprechen aber nach Lossen noch andere, geologische Gründe, auf die hier noch kurz eingegangen werden muss, da sich in denselben theilweise für die auf S. 300 ff. gegebene Erklärung des Zusammenhanges zwischen Grundwasserstand und Sättigungsdeficit eine Bestätigung findet. Lossen findet, dass im südlichen Theile der Niederstadt zweifellos die Neigung und Muldung der wasserführenden Grandbänke des oberen Diluvialhauptsandes (*ds*), speciell die Untergrandbank vom Uferrande des Teltow und die vielfach nachgewiesene Unterlagerung dieser wasserführenden Schichten im Diluvialuntergrund der Thalsandwanne durch wasserundurchlässigen unteren Geschiebelehm (*du*) und Diluvial-(Glindower-)Thon sowohl die absolute Höhe als auch die Stetigkeit des Grundwasserstandes mitbedingt.

Auf der Nordseite der Niederstadt liegt die geologische Ursache für die niedrigeren Wasserspiegel und die höheren Schwankungen in der grösseren Mächtigkeit der relativ wasserdichten Massen, welche eine Verringerung des Einsickerungswassers zur Folge haben. Da aber trotzdem das die oberflächlichen Abflüsse dieser Gegenden sammelnde Pankefliess nach Veitmeyer die geringste oberirdische Wassermenge aufweist, so kann dies nach Lossen nur auf einen relativ grossen Verlust durch Verdunstung der Niederschläge bezogen werden. In Barnim, soweit seine Zuflüsse für das Grundwasser des Altalluviums in Betracht kommen, reicht die oberflächliche

1) Berliner Festschrift. 1886.

Auflockerung des durchschnittlich mächtiger und ununterbrochener zu Tage anstehenden oberen Geschiebelehms wohl hin, um ein rasches Abfliessen zu hindern, aber das so eingesickerte Wasser gelangt nur zum Theil zu grösserer Tiefe und zur unterirdischen Circulation, im Sommer und Herbst fällt der grösste Theil der Verdunstung anheim. Es ist interessant und spricht gewiss sehr für die Richtigkeit der hier und auf S. 300 ff. entwickelten Anschauung, dass zwei von verschiedenen Gesichtspunkten, vom geologischen und vom klimatologischen ausgehende Untersuchungen zum selben Resultat geführt haben. Als Consequenz dieses niedrigeren Wasserniveaus auf der Nordseite wird aber ein stärkeres Einsickern der Spree bei Hochstand zu betrachten sein.

2. *München*

siehe Seite 252. 270. 286. 300, sowie Fig. 20. 21. 26. 28—32.

3. *Paris*[1].

Das nachstehende geologische Profil (Fig. 36) schneidet den Untergrund der Stadt, von der Rue du Faubourg Poissonière angefangen bis zur Barrière du Mont Parnasse und gibt so ein vollständig anschauliches Bild.

Die undurchlässige, wasserbedeckte Tertiärformation des Seinebeckens ruht unmittelbar auf der weissen Kreide mit Feuersteinen. Die Feuersteinknollen sind unregelmässig in ihr vertheilt, von sehr verschiedener Dimension, und so häufig, dass man in den Steinbrüchen der Umgebung ganze Halden davon beiseite gelegt findet.

Unmittelbar über der Kreideformation beginnen die alttertiären Ablagerungen des Beckens. Sie bestehen aus einem Complexe von abwechselnd marinen, brakischen und Süsswassersedimenten und füllen das tellerförmige Becken aus, in dessen Centrum Paris liegt.

Ungleich den Tertiärablagerungen des Münchener Plateaus und des Wiener Beckens (Profil Fig. 37) sind die des Pariser Beckens in Folge des steten Wechsels von Meeres- und Süsswasserbildungen, die auf ein fortwährendes Schwanken des Bodens schliessen lassen, viel complicirter.

Wir haben sechs Hauptglieder zu unterscheiden, von denen jedes wieder in mehrere Unterabtheilungen zerfällt; es sind:

---

1) Delesse, Carte géologique souterraine de la ville de Paris. L'Institut. XXV. 1857. — Idem, Carte hydrographique souterraine de Paris. C. r. XLII. Ibid. LXIV. Bull. de la soc. géol. XIX. — Karrer, Der Boden der Hauptstädte Europas. 1881.

1. Die Sables inférieures, 2. der Calcaire grossier (Pariser Grobkalk), 3. die Sables moyens de Beauchamp, 4. das Terrain gypseux, 5. die Sables superieures de Fontainebleau, und 6. die Meulières de Beauce.

Die Sables inférieures beginnen im Pariser Becken mit eigenthümlichen, feinen, marinen Sanden, den Sables de Bracheux, Conglomeraten mit Süsswassermuscheln, Sandsteinen mit tropischen Landpflanzen, und einem merkwürdigen Conglomerat, welches erfüllt ist mit fossilen Knochen von Säugethieren. Es ist eine Art von Beinbett (Bonebed), wie es auch in älteren Formationen in Amerika, England, Deutschland u. s. w. mannigfach vorkommt — eine Schicht voll von Wasser zusammengeschwemmter Knochen. Hierauf lagert der bekannte Tegel von Paris (der Argile plastique), welcher eine brakische Bildung ist und ausser wenigen Muscheln hauptsächlich Pflanzenreste enthält. Er liegt

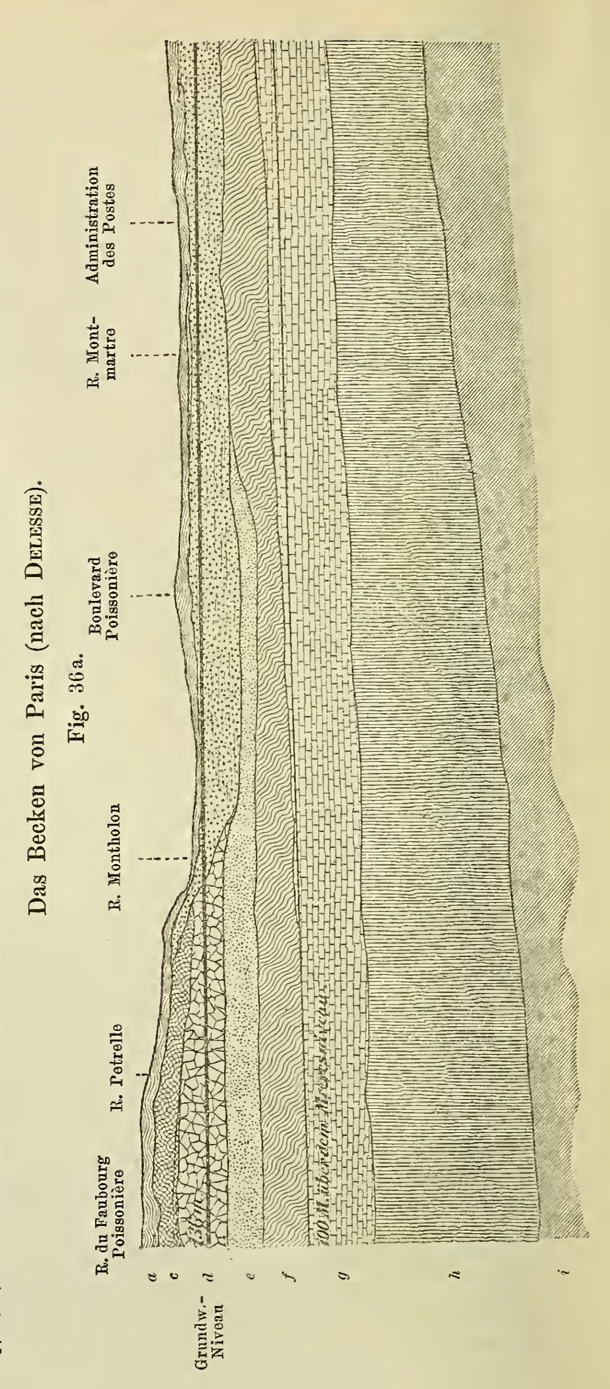
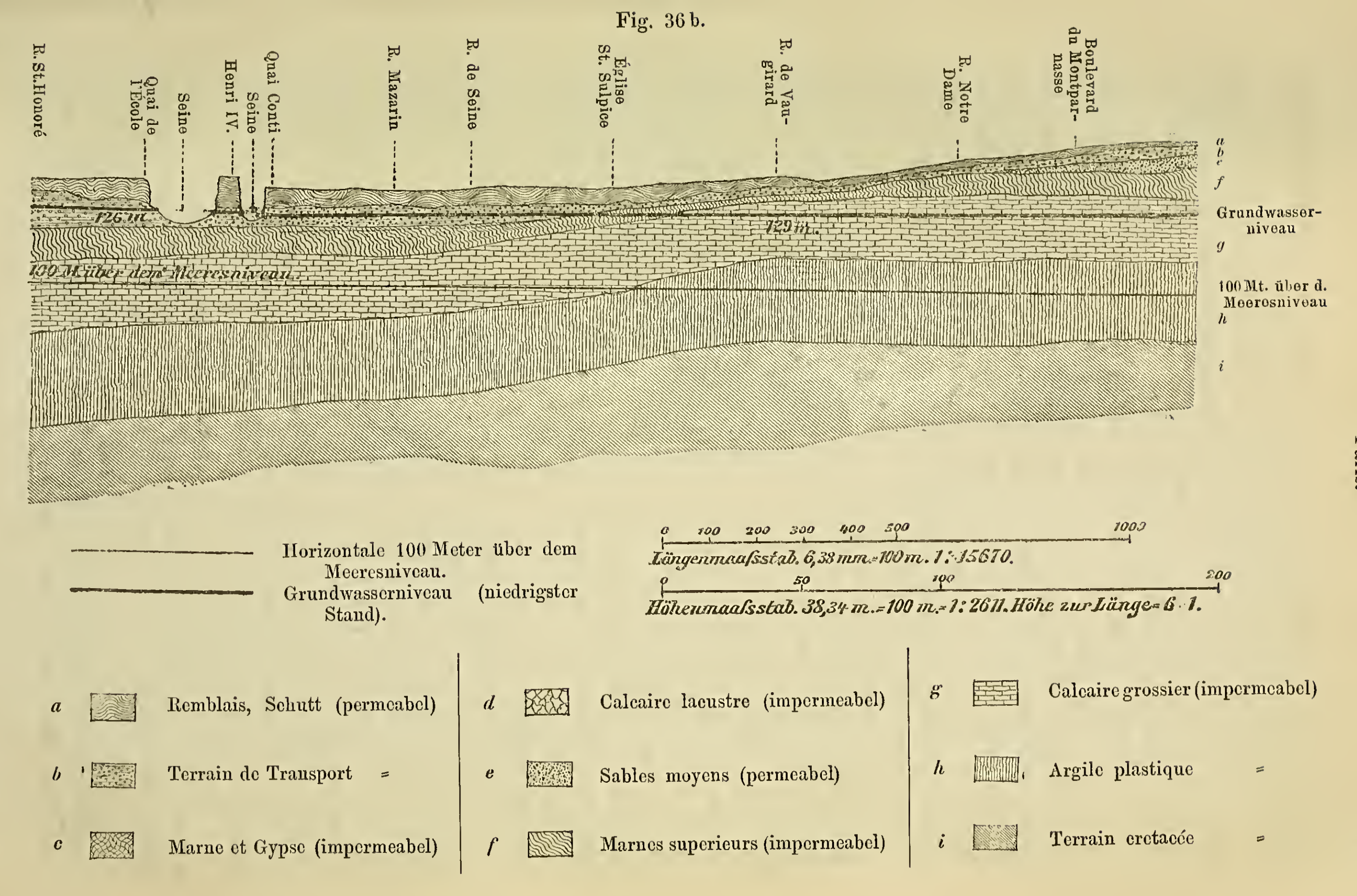


Fig. 36a.

Das Becken von Paris (nach Delesse).

Fig. 36 b.



R. St.Honoré
Quai de l'École
Seine
Henri IV.
Seine
Qnai Conti
R. Mazarin
R. de Seine
Église St. Sulpice
R. de Vaugirard
R. Notre Dame
Boulevard du Montparnasse
a
b
c
f
Grundwasserniveau
g
100 Mt. über d. Meeresniveau
h
i
126 m.
129 m.
100 M. über dem Meeresniveau.
Horizontale 100 Meter über dem Meeresniveau.
Grundwasserniveau (niedrigster Stand).
0 100 200 300 400 500 1000
Längenmaaſsstab. 6,38 mm.=100 m. 1:15670.
0 50 100 200
Höhenmaaſsstab. 38,34 m.=100 m.=1:2611. Höhe zur Länge=6:1.
a Remblais, Schutt (permeabel)
b Terrain de Transport "
c Marne et Gypse (impermeabel)
d Calcaire lacustre (impermeabel)
e Sables moyens (permeabel)
f Marnes superieurs (impermeabel)
g Calcaire grossier (impermeabel)
h Argile plastique "
i Terrain cretacée "

unter ganz Paris, unmittelbar auf der weissen Schreibkreide ruhend, wie ein wasserundurchlässiges Pflaster ausgebreitet.

Ueber dem Argile plastique liegt an manchen Stellen des Pariser Beckens eine rein marine Sandablagerung, die Sables soissonais, in welcher das Auftreten der ersten Nummuliten zu signalisiren ist. Damit schliessen die Sables inférieures.

Das nächste und wichtigste Glied im Boden von Paris ist aber der Calcaire grossier, der Grobkalk. Derselbe erreicht 20—30 Meter Mächtigkeit, ist in zahlreichen Steinbrüchen aufgeschlossen und beginnt mit Glaukonit (Grünerde) führenden marinen Sanden und einem localen Beinbett von Haifischzähnen. Er selbst ist zum Theil Meeresbildung, zum Theil brakisches Sediment. Mit einer Lage von mergeligem Charakter (Marnes supérieures), welche ebenfalls unter ganz Paris sich ausbreitet, schliesst er ab.

Das dritte Glied des Pariser Beckens, die Sables moyens de Beauchamp, streichen nur mehr unter die höheren Theile von Paris, das Faubourg Poissonière, Montmartre, Mont Parnasse u. s. w., in der inneren Stadt fehlen sie.

Das vierte Glied der Gypse von Paris beginnt mit einer Süsswasserbildung, dem Calcaire oder Travertin inférieur de Saint Quen, zum Theil verkieselte Kalksteine, welche Paläotherien- und Anaplotherienreste enthalten und als Mühlsteine Verwendung finden. Hierauf folgt der zu unterst aus marinen, zum grössten Theil aber aus Süsswasserablagerungen bestehende Complex der Gypse und Mergel von Montmartre, die wir nur unter dem nördlichen Theile von Paris entwickelt finden.

Ueber den Gypsen nimmt noch eine marine und Süsswasserbildung, der sogenannte Travertin moyen de Brie, einige Aufmerksamkeit für sich in Anspruch. Die Kieselkalke derselben dienen zu Mühlsteinen und werden nahe bei Paris (Melun, Pantin) gebrochen.

Alles unterhalb Paris ist aber bedeckt vom Terrain quaternaire, dem Diluvium und Alluvium (Depots caillouteux) der Seine, welche Ablagerungen unter der Bezeichnung Terrain du Transport begriffen werden. Darüber folgen die Remblais, die Anschüttungen und Anhäufungen durch Menschenhand.

Delesse unterscheidet im Becken von Paris zwischen Infiltrationswasser (nappe d'infiltration) und zwischen unterirdischem Wasser (nappe souterraine). Das Infiltrationswasser fliesst der Seine zu, hat ein höheres Niveau als diese selbst und erhebt sich vom Flusse nach beiden Seiten hin immer höher, erst etwas steiler, dann sanfter, ganz nahe am Flusse etwa 1 : 100, und die Oberfläche bietet

daher die Form einer Mulde dar; es wird gespeist von den Wässern, die von den Hügeln kommen, zwischen denen die Seine eingesenkt ist, welche letztere mit Rücksicht auf diese die Rolle eines austrocknenden, drainirenden Kanals spielt, es ist dasjenige Wasser, das als Grundwasser unser Interesse besitzt. Das unterirdische Wasser befindet sich oberhalb des Argile de Beauce und des grünen Thon, vielfach über dem oben angeführten Infiltrationswasser. Während das letztere hauptsächlich im Thale der Seine und Marne sich ausbreitet, und hauptsächlich daselbst die Brunnen speist, kommt das auf dem grünen Thon fliessende Wasser auf den Hügeln und Plateaus der Umgegend von Paris vor und gibt daselbst Veranlassung zu reichlicher Quellenbildung.

Die Grundwasserverhältnisse von Paris sind in dem Profil von Delesse nach dem niedrigsten Stande vom 15. März 1854 dargestellt und bringt dasselbe das Ansteigen des Grundwassers mit der Entfernung vom Flusse zum Ausdruck; an den Ufern selbst sinkt es auf 127,5 Meter und stromabwärts selbst auf 125,5 Meter über dem Meere. Am linken Ufer beträgt die Niveaudifferenz mehr als 5 Meter, am rechten Ufer steigt diese Differenz auf das Doppelte. Das mittlere Gefälle ist etwas über 0,001 Meter auf 1 Meter, das der Seine nur 0,0002 Meter auf 1 Meter.

Dieser Unterschied im Gefälle hat nach Delesse zur Folge, dass das Wasser selbst durch den permeabelsten Boden nur schwer abfliesst. In Zeiten des Seinehochwassers infiltrirt das Seinewasser den Boden, im Allgemeinen jedoch wird die Seine von dem den Hügeln der Umgebung von Paris entströmenden Grundwasser gespeist.

Nach Delesse hängt die Form des Grundwasserspiegels von dem Stande der Seine ab, deren Schwankungen er wiederholt. Die Seine spielt nun gegenüber dem Grundwasser die Rolle eines drainirenden und austrocknenden Kanals. Es kommt eben hier wieder in Betracht, dass der Fluss in der durchlässigen Bodenschicht sein Bett hat, dass das Grundwasser sich allmählich zu demselben absenkt und dass eben die Seine als tiefster Drainagepunkt des Grundwassers aufzufassen ist, in Folge dessen müssen sich in dem Umkreise der Seine analoge Verhältnisse etabliren wie in Berlin und Wien (Leopoldstadt und Stadt).

Der Abstand zwischen Oberfläche und Grundwasserniveau, der sich aus dem Profil Fig. 36 bei diesem Grundwasserstande ergibt, erreicht sein Minimum mit ca. 3 Metern.

Das Infiltrationsgebiet der Seine, in welchem das Infiltrationswasser circulirt, ist ein sehr ausgedehntes, doch war es möglich bei

dem gegen den Fluss zu immerhin nicht unbeträchtlichen Stande des Grundwassers gegenüber dem der Seine, durch Drainirung das Niveau des Grundwassers herabzudrücken. Delesse macht auch schon auf die hygienische Seite der Grundwasserströmungen aufmerksam, indem er die Bedenken hervorhebt, welche der Umstand verursacht, dass auf diesem Wege die Drainage des Friedhofs Mont-Parnasse unter einem Theil des Faubourg St. Germain durchsickert[1]).

4. *Wien*[2]).

Wien liegt im Donauthale, unterhalb der Stromenge bei Klosterneuburg, fast unmittelbar an jenem langen Gebirgsspalt, welcher durch den jähen Absturz der Alpen gebildet wird, und durch die längs derselben auftretenden warmen Quellen besonders ausgezeichnet ist. Der gegenüber liegende Flügel der Alpen, das Rosalien- und Leithagebirge und die kleinen Karpathen, schliessen in dreieckiger Figur die Niederungen, welche wir das alpine Wiener Becken nennen, dessen Spitze bei Gloggnitz ist, während die Donau, welche die Basis bildet, durch die nächste Flussenge bei Theben in Ungarn einbricht.

Der Configuration nach zerfällt das Terrain in eine ziemlich ebene Partie, welche an den Donauufern, sowohl des eigentlichen Stromes, als ihres natürlichen Armes, des Donaukanals, sich entwickelt, im Allgemeinen in einer Höhe von 4—6 Metern über dem Nullpunkte an der Ferdinandsbrücke (156,817 Meter) verläuft und das ganze Donaugebiet bis zu dem sich scharf markirenden Steilrande repräsentirt, welcher sich von den Gehängen des Leopoldsberges in der Richtung von Nord nach Südost ununterbrochen und in fast gleichmässiger Höhe bis zur Nussdorfer Linie hinzieht und von da an durch die Thurmgasse, Berggasse, Salzgries an die Franz-Josef-Kaserne, wo er von dem Wienflusse, einer drainirenden, bis in den Tegel (den undurchlässigen Untergrund) einschneidenden

---

1) Bull. de la Soc. géol. 1862.

2) Vergl. E. Suess, Der Boden von Wien. 1882. — F. Karrer, Der Boden der Hauptstädte Europas. 1881. — Wiens sanitäre Verhältnisse und Einrichtungen. 1881. — Berger, Mittheilungen über die Bodenverhältnisse in Wien. Zeitschr. d. österr. Archit.- u. Ingen.-Vereins. 1881. — Technischer Bericht über die Grundwasserverhältnisse in Wien, erstattet vom Stadtbauamt im Februar 1880. Wien 1882. — Resultate der Grundwasserbeobachtungen. Wien 1886, erhoben und zusammengestellt vom Stadtbauamt (1883. 1884. 1885). — Monatliche Uebersichten der Ergebnisse von hydrometrischen Beobachtungen. Militair-statistische Jahrbücher. Wien. (Daten, welche das Decennium 1876—85 betreffen.)

Fig. 37a.

Profil durch den Boden der Stadt Wien von WSW nach ONO.

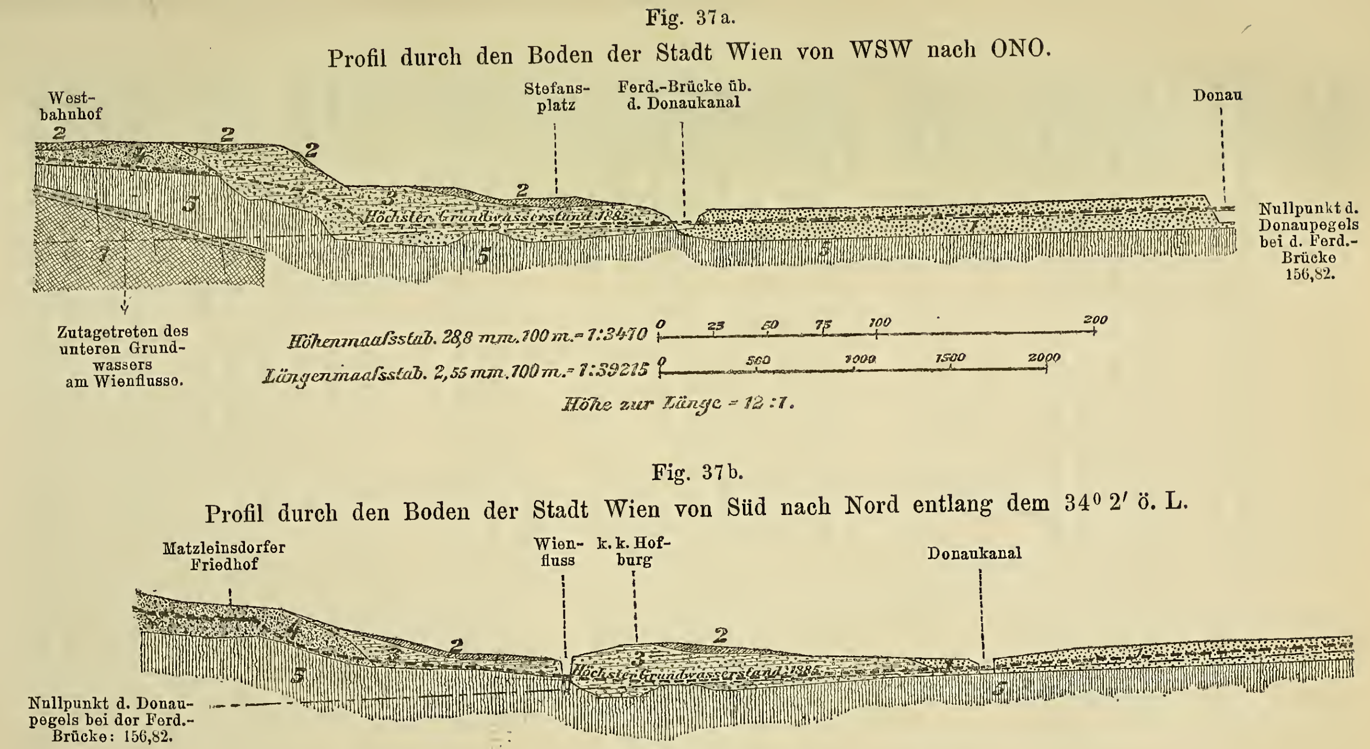


Fig. 37b.

Profil durch den Boden der Stadt Wien von Süd nach Nord entlang dem 34° 2′ ö. L.

Höhenmaaſsstab. 28 mm. = 100 m. = 1:3571. 0 25 50 75 100

Längenmaaſsstab. 1,98 mm. = 100 m. = 1:50505. 0 500 1000 2000

Höhe zur Länge = 14:1.

1 Alluvialkies (permeabel). 2 Löss (impermeabel). 3 Diluvialkies (permeabel). 4 Belvederekies (permeabel). 5 Congerientegel (impermeabel). 6 Sarmat. Sand (permeabel). 7 Sarmat. Tegel (imperm.).

Einsenkung durchschnitten wird, um sich jenseits der Wien am rechten Ufer der Donau in wechselnder Entfernung von der letzteren fortzusetzen.

Mit diesem Steilrand beginnt die höhere Stufe, der Theil Wiens mit einer ansteigenden, theils welligen, theils abgestuften Oberfläche (Fig. 37 a u. b).

Es ist von Suess nachgewiesen worden, dass Wien nicht zwischen zwei selbstständigen Gebirgszügen, sondern mitten in den Alpen selbst, zwischen der Centralkette und der Grauwackenzone einerseits und der Sandsteinzone andererseits, unmittelbar auf dem Gebiete der eingesunkenen Kalksteinzone liegt.

Die Tiefe dieser eingesunkenen Felspartie ist nicht bekannt, da noch mit keiner Bohrung dieselbe erreicht wurde. Dieser eingesunkene Gebirgsbruch bildet wahrscheinlich den Untergrund aller sich darauf aufbauenden Gebilde.

Das Alluvialgebiet der Donau, die tiefe Stufe, welche bis an den erwähnten Steilrand reicht, enthält zu oberst Schlamm (Kitt), dann Sand und Schotter (1), ebenso die Alluvionen des anschliessenden Wienflusses und der übrigen kleinen Wasseradern.

Der Abhang des Steilrandes selbst besteht aus Lehm, Löss (2) und dann alluvialem Schotter (3). Diese diluvialen Schichten, welche sich gegen das Marchfeld ausbreiten, sind durch das Alluvialgebiet der Donau unterbrochen, und liegen die Alluvialbildungen (1) im ganzen Wiener Gebiet auf dem blauen Tegel der tertiären Schichtungen.

Die Bildungen der nun folgenden mitteltertiären (miocänen) Schichten reihen sich in folgender Weise nach der Tiefe zu: Je eine undurchlässige und die zugehörige Schotter- und Sandschicht gehören einer Formation für sich an, wie dies die eingeschlossenen organischen Ueberreste beweisen.

Die Süsswassergruppe, bestehend aus dem sogenannten Belvederesand und Belvedereschotter, gelbes und gelbrothes, flaches Quarzgeschiebe, zuweilen rothe Thone enthaltend, dann blauen Tegel (Congerien- oder Inzersdorfer Tegel) und blauen Sand.

Die sarmatische Gruppe, enthaltend Cerithiensand und Cerithiensandstein, gelb und sonst licht gefärbt, blattelig, dann blauer Tegel (sarmatischer oder Hernalser Tegel).

Die marine Gruppe (jüngere Mediterranstufe), bestehend aus Gerölle, in der Regel zu festen Massen verbundene Conglomerate, dann fester, lichtgelber Kalkstein, der Nulliporen- oder Leithakalk, ferner lichtgelber Sand, und endlich als Sediment dieser Gruppe der

marine Tegel (Badener Tegel), bereits auf der eingesunkenen Kalksteinzone lagernd.

Die Localnamen der drei Tegelgattungen bezeichnen ungefähr die Ausbreitungspunkte derselben.

Die Schichten ruhen immer auf älteren, keineswegs stets auf nächst älteren Schichten, diese können weggeschwemmt sein. Belvederesand und -Schotter ruhen aber stets auf Inzersdorfer Tegel.

Es kommt auch häufig vor, dass Diluvialbildungen unmittelbar auf Inzersdorfer Tegel liegen; in ähnlicher Weise sind oft die ganzen Diluvialbildungen abgeschwemmt, und ruhen Alluvialbildungen dann unmittelbar auf Inzersdorfer Tegel.

Der Inzersdorfer- oder Congerientegel bildet in beträchtlicher Tiefe den Untergrund der Stadt Wien, da man ihn bei tieferen Bohrungen immer erreicht, selten aber durchbohrt hat.

Dieser Tegel zieht sich nun, unabhängig von der Oberfläche, insbesondere von dem oben erwähnten Steilrand der Donau, unter derselben hin, wellenförmige Erhebungen und muldenförmige Einsenkungen bildend, offenbar ebenfalls früheren Wasserläufen seinen Ursprung verdankend. Unterhalb der sogenannten inneren Stadt präsentirt sich uns dieser Tegel analog wie in München der Flinz in Form einer seichten Mulde, die jedoch wieder durch einen sanften unterirdischen Rücken, der in Gestalt eines Bogensegmentes vom Schottenthore sich etwa bis zur Seilerstette herüber zieht.

Ziemlich parallel mit dem oberen Steilrand, jedoch viel weiter entfernt von der Donau, erhebt sich der Tegel ziemlich hoch, zu einer höheren, viel unebeneren Fläche, einer Linie folgend, die von der Josefstädter Strasse, Buchfeldgasse und Lenaugasse unterhalb der Hofstallungen zur Fichtestrasse führt, den Wienfluss kreuzt und zum Rennweg und zur Artilleriekaserne verläuft. Dieser Steilrand stellt sich am deutlichsten dort dar, wo die Oberfläche der Stadt sich zu ihm am tiefsten herein senkt, nämlich an der Stelle, wo er das Thal des Wienflusses kreuzt und er ragt hier sogar theilweise an die Oberfläche empor.

Durch diese Configuration der undurchlässigen Schichte ergibt sich zuvörderst das Resultat, dass mit der seitlichen Entfernung von der Donau trotz des nicht unbedeutenden Ansteigens der Oberfläche diese letztere sich in verticaler Richtung nicht blos vom Wasser nicht entfernt, sondern sich demselben sogar nähert. Wir erkennen dies im Profil Fig. 37 aus der wechselseitigen Lage der Oberfläche zum Grundwasserniveau. In der Nähe der Burg beträgt der Abstand der Oberfläche vom Grundwasserniveau über 15 Meter, weiter

aufwärts sinkt dieser Abstand auf 5 Meter und noch weniger. So erklärt sich, dass in den Jahren 1879—83 das Grundwasser an Stellen zu Tage trat, die 35—40 Meter über dem 0 Punkte des Donaupegels gelegen waren.

Dadurch bildet sich ein Grundwasserniveau, das zunächst mit ziemlich steilem Abfall dem Donaugebiet zuströmt, um erst in diesem Bezirk ein flaches Absinken zu zeigen. Im Donaugebiet beträgt dasselbe nur ca. 5 Meter auf 1600 Meter oder 0,003 Meter auf 1 Meter, in den höheren Theilen dagegen steigt das Gefälle bis auf 30 Meter auf 1600 Meter oder auf 0,017 Meter auf 1 Meter. Der höchste Niveauunterschied, der auf dem Profil zur Darstellung kam, beträgt 35 Meter.

Eine weitere Folge dieser Configuration des Tegels besteht darin, dass sich das Grundwasser auf diese Weise in zwei nach chemischer und mechanisch-physikalischer Beziehung ganz verschiedenartige Gebiete sondert.

Der Steilrand, dessen Niveau höher ist als das der Donau (auch bei Ansteigen der letzteren), bewirkt, dass die Infiltration der Donau, die bei der muldenartigen Einsenkung des Tegels unerlässlich ist, sich nur bis zu diesem Steilrande erstrecken kann und hier ihr Ende findet. Ragt nun schon der kleine, oben erwähnte, halbmondförmige Rücken zeitweise inselartig aus diesem von der Donau beeinflussten Gebiete hervor, so ist dies um so mehr bei den oberhalb des Tegelsteilrandes gelegenen Partien der Fall.

Suess hat nun diese Trennung in zwei Gebiete aus der chemischen Beschaffenheit der Brunnen bewiesen. Wenn man diese Brunnen von dem Hochbezirke an bis zur Donau verfolgt, so findet man, dass die Härte des Wassers im Allgemeinen anfänglich, nämlich innnerhalb des Hochbezirks, gegen den Donaubezirk zu zunimmt, längs dem Rande des Donaugebietes nimmt jedoch die Härte, weil nun das weiche Donauwasser hinzutritt, ab. Da die Härte des Brunnenwassers von den im Boden zur Auflösung gelangenden Kalk- und Magnesiasalzen abhängt, so muss die Härte des Grundwassers im Hochbezirke an und für sich eine höhere sein als im Donaubezirke, wo das weiche Donauwasser eine Verdünnung herbeiführt, aber es muss im Hochbezirke selbst anfänglich bis zur Grenze des Steilrandes eine Zunahme der Härte erfolgen, da das Grundwasser gegen diesen Steilrand zu abfliesst beim Anlangen an diesem Steilrand längere Bodenschichten durchflossen hat und also mehr Salze aufnehmen konnte.

In physikalisch-mechanischer Beziehung zeigt sich dann die Zweitheilung des Grundwassergebietes darin, dass die Schwankungen

im Grundwasserstande in diesen beiden Terrainabschnitten sehr verschieden verlaufen.

In dem die Donau umschliessenden Theil bis zum Tegelsteilrand haben wir Verhältnisse, den bei Berlin geschilderten ganz analog. Die Donau resp. der Donaukanal haben zwar ihre Sohle in undurchlässiger Schicht, allein sie schneiden nicht tief genug in dieselbe ein, um einen freien Abfluss des Grundwassers (wie in München) zu ermöglichen. Das Abflussniveau sinkt und steigt mit dem Donauwasserstande, es muss also bei Hochstand der Donau eine Stauung eintreten, der ein Ansteigen des Grundwassers folgt, und bei Tiefstand der Donau ein beschleunigter Abfluss, dem ein Absinken des Grundwassers folgt; ja da die Erhöhung des Donauniveaus viel rascher erfolgt als die consecutive Anstauung des Grundwassers, das ja erst durch ein Material mit viel Widerständen fliesst, so muss auch ein deutliches und bedeutendes Einsickern des Donauwassers in den Untergrund erfolgen; es wird in dieser Zeit das Grundwasser zu beiden Seiten der Donau mit dieser selbst einen ähnlichen, nach beiden Seiten hin abfallenden Berg bilden, wie dies für Berlin constatirt ist, der erst allmählich durch Zufluss des Grundwassers umgewandelt wird zu einer Wasserfläche, die nach beiden Seiten vom Flusse ansteigt.

In den Hochbezirken ist eine Einsickerung von Seite des Flusses aus physikalischen Gründen unmöglich, aber auch die Stauung durch den Fluss wird sich nur wenig oder gar nicht geltend machen, weil der Abfall des Steilrandes ein relativ so steiler ist, dass das Grundwasser des tieferen Bezirkes nicht so hoch zu steigen pflegt, um diesen Abfluss zu behindern.

Die Folge davon ist, dass sich in dem Ablauf der Schwankungen des Grundwassers in diesen Gebieten zweierlei Rhythmen zeigen müssen; der eine Rhythmus wird hauptsächlich durch die Verhältnisse des Abflusses beherrscht, die von dem Donauwasserstande abhängen, es wird dieser Rhythmus also der der steigenden und fallenden Donau sein (mit einer entsprechenden Verspätung), nach 10jährigen (1876—85) Grundwassermessungen am Brunnen in der Rossauer Kaserne [1]) zeigt sich die Uebereinstimmung sowohl nach Rhythmus als auch nach Amplitude der Schwankung, das Maximum tritt im Juli ein, das Minimum im November, die Amplitude der Jahresschwankung beträgt ca. 1,180 Meter; der andere Rhythmus, für das Hochgebiet, wird, da hier die Verhältnisse des Abflusses durch die

1) Militairisch-statistische Jahrbücher. Wien.

Donau sich nicht wesentlich ändern, hauptsächlich durch die Momente des Zuflusses, also die meteorischen Niederschläge in ihren Beziehungen zur Verdunstung, und die Zuflüsse von höheren Gebieten beherrscht. Als Beispiel können die Beobachtungen in der Rennweger Kaserne [1]) dienen, aus denen sich sowohl der Einfluss der Niederschläge als auch der des Sättigungsdeficits entnehmen lässt.

Die seit 1883 an 160 Brunnen angestellten Beobachtungen umfassen eine zu kurze Zeit, als dass nach diesen Richtungen hin schon entscheidende Resultate vorliegen könnten. Sie lassen sich wohl für die relativ einfachen Verhältnisse des niederen Donaugebietes bestimmen. Dieses Gebiet umfasst von den untersuchten Brunnen fast sämmtliche Brunnen des I., II., III. und IX. Gebietes, und von den übrigen Bezirken hauptsächlich jene Brunnen, die sich noch innerhalb der niederen Partie des Tegels befinden.

Auf diese Weise ist die Rolle, die der Donaukanal und die Donau mit Rücksicht auf das Bodenwasser spielt, auch eine zweifache; die oberen Partien, oberhalb des Steilrandes des Tegels, deren Grundwasser ja auch der Donau zuströmt, werden von der Donau entwässert, die unteren werden zeitweise dagegen von ihr bewässert, es sickert das Donauwasser in den Boden.

Auch in der Grösse der Schwankungen, der Amplitude spricht sich dieses doppelte Verhalten aus, die Brunnen des Donaugebietes schwanken im Allgemeinen viel stärker, ihre Amplitude ist viel höher als die des Hochgebietes. (Jahresamplitude — 10 jähriger Durchschnitt — für den Brunnen der Rossauer Kaserne [Donaugebiet] 1,18 Meter, für den Brunnen in der Rennweger Kaserne 0,4 Meter, in dem Garnisonsspital 0,25 Meter.)

In Wien hat sich eine wissenschaftliche Voraussage bewahrheitet, die an der Hand der Boden- und Grundwasseruntersuchungen von E. Suess im Jahre 1862 aufgestellt wurde, er fand damals, dass der Boden der Stadt Wien manche Bedenken wach werden lässt über die Folgen der Hereinleitung einer so grossen Wassermenge, wie sie zu Zwecken der Wasserversorgung thatsächlich erfordert wird. Die Bewässerung einer grossen Stadt sei, wenn für den Abfluss des Wassers nicht in gehöriger Weise gesorgt ist, nur ein gar zweifelhaftes Geschenk. Suess deutet auch die Hauptrichtungen an, in denen die Drainage zuerst einsetzen müsste.

Die seit Einführung der Hochquellenleitung erfolgte Sistirung der Wasserentnahme mittelst Pumpbrunnen, wodurch früher täglich

1) Militairisch-statistische Jahrbücher. Wien.

ein Quantum von 15000 Cbm. aus dem Boden gehoben worden war, endlich auch der in den Boden einsickernde Theil der zugeleiteten Wassermassen haben in den Jahren 1879—83 zu einem bedeutenden Ansteigen des Grundwassers geführt, das sich besonders in den höher gelegenen Theilen (des IV.—IX. Bezirkes) geltend gemacht und zu dem auf S. 348 angeführten Zutagetreten des Grundwassers geführt hat, und als dessen letztes Resultat das Unterwassersetzen sehr zahlreicher Keller auftrat, da in einem grossen Theile der Stadt die Kanäle über der Kellersohle situirt waren und so nicht zur Entwässerung der letzteren beitragen konnten. Das zur Behebung dieser Uebelstände in Anwendung gebrachte Mittel, durch Tieferlegen der Kanäle, durch Herstellung von Drainagen, hat in der That bereits wirksame Abhilfe geschaffen, wie dies besonders einige Brunnen im VIII. Bezirk zeigen, in denen seit 1883 ein constantes Absinken des Grundwasserstandes sich ausprägt. Es ist nach den im Capitel „Zur Bedeutung der Grundwasserschwankungen" gegebenen Darlegungen begreiflich, dass eine derartige künstliche Erniedrigung des Grundwasserstandes nicht gleichwerthig ist mit dem durch Austrocknung herbeigeführten Absinken (vergl. auch „Volkskrankheiten" Cap. III).

Druckfehler.

S. 114. Z. 15 v. o. lies Nessler statt Moser.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.







